

					<div> <div>МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ</div> <div>Лист</div> <div>1</div> </div>
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	

Зміст

Перелік скорочень та умовних позначень фізичних величин	4
Реферат.....	6
Review	7
Вступ.....	8
1. Аналітичний огляд літератури	9
1.1. Призначення та будова стабілізаторів озброєння.....	9
1.2. Гіроскопи як чутливі елементи системи стабілізації.....	11
1.3. Струнні акселерометри.....	16
2. Принцип роботи та конструкція струнного акселерометра.....	24
2.1. Опис конструкції струнного акселерометра.....	
2.2. Опис принципу дії чутливого елементу.....	26
2.3. Вибір матеріалу струнного акселерометра	28
2.4. Способи кріплення струни в акселерометрі, та акселерометра на рухомій платформі.....	30
2.5. Розробка блок-схеми СА.....	
2.6. Розробка принципової схема СА.....	
2.7. Реєстрація вихідного сигналу	31
3. Математична модель та основні розрахунки ЧЕ	34
3.1. Математична модель ЧЕ	34
.....	37
3.2. Розрахунок основних елементів чутливої системи	
3.3. Розрахунок геометричних розмірів вантажу.....	39
3.4. Статичні характеристики акселерометра	41
3.4.1. Розробка структурної схеми	41
3.4.2. Розрахунок точності струнного акселерометра	43
3.5. Динамічні характеристики	48
3.5.1. Рівняння динаміки	48
3.5.2. Перехідна та імпульсна характеристики	50
3.5.3. Побудова ЛАФЧХ.....	52
4. Визначення показників технологічності.....	54
4.1. Вступ.....	54
4.2. Визначення основних показників технологічності	54
4.3. Визначення додаткових показників технологічності.....	55
4.4. Визначення комплексного показника технологічності	
5. Розробка стартап проекту на тему «Вібраційний чутливий елемент стабілізатора озброєння»	58
5.1. Опис ідеї проекту	58

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		2

5.2.	Технологічний аудит ідеї проекту.....	61
5.3.	Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроекту.....	62
	Відповідність міжнародним стандартам	63
5.4.	Розроблення ринкової стратегії проекту	71
5.5.	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	73
5.6.	Висновки	78
Висновки		80
Список використаних джерел		81

Перелік скорочень та умовних позначень фізичних величин

ЧЕ -- чутливий елемент

СО - стабілізатор озброєння

СА – струнний акселерометр

l – довжина струни

v – швидкість рухомого об'єкту

f – частота коливань струни

m – маса вантажу

λ – питома густина матеріалу струни

μ_{cc} – постійний коефіцієнт струнної системи

S – площа поперечного перетину струни

k_z – коефіцієнт залежності зусилля від швидкості

λ_l – лінійна щільність струни

K – повздовжня жорсткість струни

ζ – коефіцієнт демпфування

ω_0 – власна частота СА

z – пружна деформація струни під дією mz

t – поточний час

f_z – частота поперечних коливань струни під дією \dot{z}

\dot{z} – прискорення масивного вантажу акселерометра відносно корпусу

Δf – зміна частоти поперечних коливань

c – товщина струни

b – ширина струни

E – модуль пружності струни

F – натяг струни

σ_d – допустимі напруги в матеріалі струни

ζ – коефіцієнт приглушення завад

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

x – пружна деформація струни під дією $m \frac{d^2x}{dt^2}$

Δl – пружна деформація струни під дією m_g

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Реферат

В даній магістерській роботі розглянуто інформацію про різні види акселерометрів, які використовуються при конструюванні системи стабілізації, а також детально розглянуто принцип роботи, конструкцію струнного акселерометра, який використовується як вібраційний чутливий елемент стабілізатора озброєння. Проведено розрахунок та аналіз кожного елемента структурної схеми датчика, знайдено величини похибок та запропоновано методи їх мінімізації, розроблено математичну модель чутливого елемента, проведено розрахунки технологічності та розроблено стартап проект.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						6
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Review

This master's thesis considered information about different types of accelerometers, which one using in design of the stabilization system, and in detail considered principle of work, design of a string accelerometers, which is used as a vibration sensitive element of a weapon stabilizer. Performed the calculation and analysis of each element of the sensor circuit, found the magnitudes of errors and methods of their minimization are suggested, developed a mathematical model of the sensitive element, the calculations of manufacturability and developed startup project/

					<i>МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ</i>	Лист
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вступ

На даний час, різні системи стабілізації використовуються у навігаційних пристроях та системах управління різними рухомими об'єктами. У зв'язку з цим, необхідна висока точність даних пристроїв та комплексів стабілізації, вимога до якої зростає щодня. Досягнення високих показань точності цих пристроїв стало можливим завдяки розробці високої якості сучасних вібраційних елементів, гіроскопічної техніки, і значного розвитку гіроскопічних пристроїв.

Стабілізатор озброєння являє собою систему стабілізації, яка здійснює стабілізацію прицілювання при переміщенні платформи об'єкту, на якій стабілізатор встановлений. Стабілізатор озброєння призначений для спрощення прицілювання і підвищення точності вогню. Стабілізатор – це набір різних систем, таких як: система керування вогнем, набір датчиків і систему обчислюваного комплексу, з'єднаний з приводом гармати.

В даній магістерській дисертації, розроблений новий вид вібраційного чутливого елементу, який би покращив показники різних стабілізаторів озброєння. Для цього було вирішено такі задачі: розробка струнного чутливого елемента; розрахунок його математичної моделі, похибок, точності; за допомогою програми розраховано статичні та динамічні характеристики.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						8
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1. Аналітичний огляд літератури

Стабілізатор озброєння являє собою систему стабілізації, яка здійснює стабілізацію прицілювання при переміщенні платформи об'єкту, на якій стабілізатор встановлений. Стабілізатор озброєння призначений для спрощення прицілювання і підвищення точності вогню. Стабілізатор – це набір різних систем, таких як: система керування вогнем, набір датчиків і систему обчислюваного комплексу, з'єднаний з приводом гармати.

1.1. Призначення та будова стабілізаторів озброєння

Система стабілізації потрібна для того, щоб забезпечити сталість кутів між осями нерухомої системи координат, і осями які зв'язані з об'єктом стабілізації, який ми назвемо стабілізуючою платформою [1].

Стабілізуюча платформа кінематично пов'язана з основною системою кілець і осей або кардановим підвісом. На рис. 1.1, як приклад, зображено стабілізуючу платформу $П$ у двомісному підвісі. З об'єктом, що рухається пов'язана зовнішня вісь $a - a$ підвісу. Встановленої на платформі об'єкту оптичної вісі T , повинна постійно спрямована на ціль при будь яких рухах башти техніки. Достатньо забезпечити поворот платформи щодо цілей, що рухаються навколо осей, так як будь-яке кутове положення телескопа може бути отримане поворотом його навколо трьох осей і поворот телескопа навколо напрямку на ціль вже не має ролі.

Відхилення стабілізуючої платформи від кутових положень осей $a - a$ і $b - b$ визначаються елементами $\angle E_A$ і $\angle E_B$. Кожен з цих елементів керує відповідним виконавчим двигуном D через підсилювач $У$. Редуктор, що знаходиться між віссю підвісу показаний на рис. 1.1. З цього виходить, що по кожній осі знаходиться канал управління.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

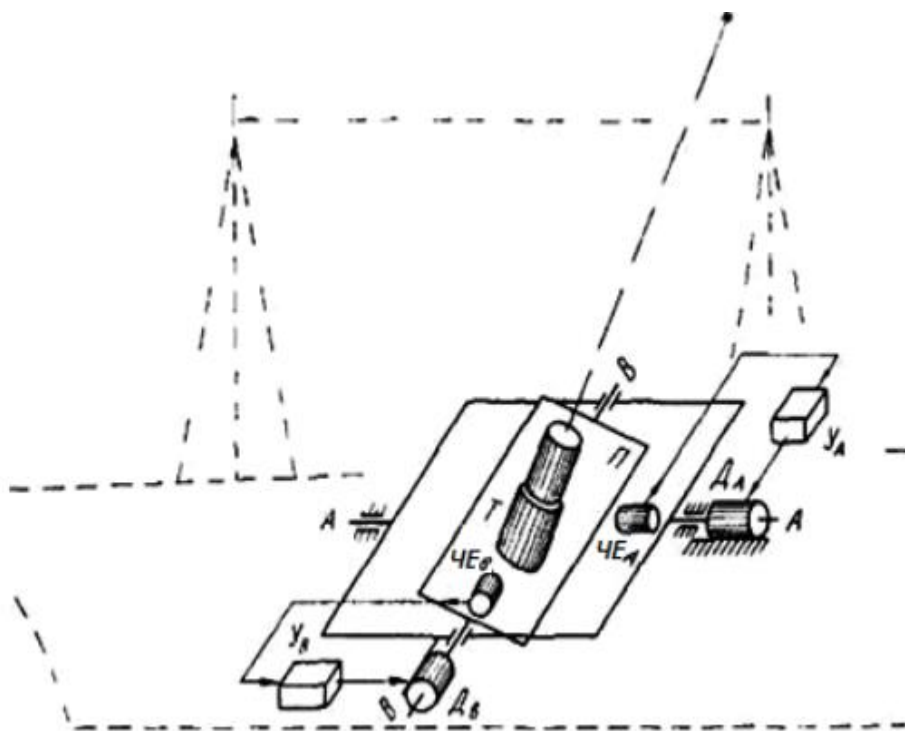


Рис. 1.1. Стабілізована платформа у двовісному підвісі

Канали стабілізації умовно складніші, ніж показано на рис. 1.1. У них можуть використовуватися додаткові сигнали від телескопа, від лічильно-обчислювальних пристроїв, сигнали по похідним кута качання і похибки стабілізації. Стабілізатор може бути коректованим, коли не тільки забезпечується незалежність положення стабілізуючої системи напрямку дії об'єкту внаслідок качання і маневру, але і здійснюються порівняно повільні повороти стабілізуючої платформи. У цьому випадку передбачаються спеціальні ланцюги корекції, що формують додаткові сигнали на виконавчих двигунах.

Система стабілізації забезпечує створення деяких стабілізуючих моментів, що діють по осях підвісу і компенсуючи моментів, які збурюють платформу внаслідок качання об'єкта та дисбалансу.

До стабілізуючих моментів відносяться моменти гіроскопічної реакції гіроскопічної системи, окрім них ще моменти виконавчих двигунів або пристроїв,

що встановлені на платформі. Системи мають силові гіроскопічні стабілізатори, в яких моменти гіроскопічної реакції впливають на платформу.

Системи непрямої стабілізації називаються системи моменти стабілізації, в яких моменти утворюються не тільки виконавчими двигунами та пристроями, а і моментами гіроскопічної реакції, що не використовуються для безпосередньої компенсації моментів.

Окремий вид є багатоступінчасті стабілізатори, серед них вагоме значення мають системи двоступеневої стабілізації. У такій системі, стабілізуюча платформа є елементом першого ступеня стабілізації. На ній додатково встановлюється в окремому кардановому підвісі друга платформа. Це другий ступінь стабілізації, тому з'являється похибка стабілізації, що спричинена моментами першої платформи. Друга платформа стабілізується у просторі з вищою точністю, ніж перша [2-4].

1.2. Гіроскопи як чутливі елементи системи стабілізації

Реалізування цілей гіроскопічної стабілізації застосовують гіроскопічні системи, що представляють собою симетричне тверде тіло, що швидко обертається навколо осі симетрії. Точка підвісу – це одна з точок тіла на осі обертання. У разі збігу цієї точки з центром тяжіння виникає астатичний гіроскоп.

Сьогодні відомо багато різновидів гіроскопів: гіроскопи з шарикопідшипниковими опорами, поплавкові, з аеродинамічним підвісом, з магнітним підвісом. Відмінність між якими полягає у способі підвісу ротора.

Триступеневий гіроскоп.

Якщо помістити кожух з ходовим підшипником у двовісний карданий підвіс рис. 1.2, отримаємо триступеневий гіроскоп. Положення гіроскопічної системи відносно нерухомого об'єкта, на якому встановлений підвіс, може бути

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		11

визначено шляхом порівняння положення координатної системи $O_{x,y,z}$, пов'язаної з обертовим ротором, з нерухомою системою координат $O\xi\eta\zeta$. Перехід від однієї системи координат до іншої може бути зроблений поворотом на три кути Ейлера [1].

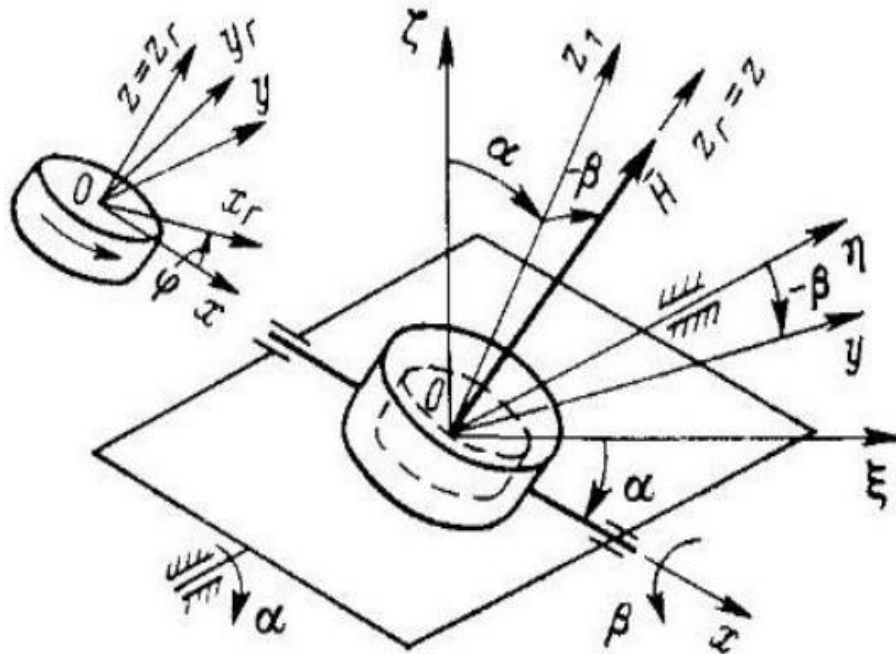


Рис. 1.2. – Гіроскоп у кардановому підвісі

Перший поворот на кут прецесії α здійснюється навколо осі зовнішньої рамки (осі O_η), другий поворот на кут нутації β – щодо осі внутрішньої рамки (осі O_x) і третій поворот на кут власного обертання гіроскопа φ – щодо осі обертання ротора (осі O_z). У гіроскопічних стабілізаторах кут α називається кутом стабілізації, а кут β – кутом прецесії.

Рівняння руху гіроскопа виводять для напіврухомої системи координат O_{xyz} , у якій вісь O_z збігається з віссю власного обертання гіроскопа, а осі O_x і O_y пов'язані з внутрішнім кільцем підвісу, тобто з кожухом гіроскопа рис. 1.2.

Вихідні рівняння руху гіроскопа, в даній системі координат мають вигляд:

$$J_x \frac{d\Omega_x}{dt} - (J_y - J_z)\Omega_y\Omega_z + \Omega_y H = M_x; \quad (1)$$

$$J_y \frac{d\Omega_y}{dt} - (J_z - J_x)\Omega_x\Omega_z + \Omega_x H = M_y; \quad (2)$$

$$J_z \frac{d\Omega_z}{dt} - (J_x - J_y)\Omega_x\Omega_y = M_z, \quad (3)$$

Де Ω_z , Ω_y і Ω_x – проекції вектора абсолютної кутової швидкості обертання напіврухомої системи координат у просторі на осі напіврухомої системи координат; J_x , J_y і J_z – відповідні моменти інерції; M_x , M_y і M_z – моменти зовнішніх сил; $H = \Omega_0 J_z$ – кінетичний момент.

Рівняння (1) і (2) описують рух осі гіроскопа. Ці рівняння зручніше представити так, щоб у них входили моменти, що діють по осях підвісу: $\Omega_x = \beta$ і $\Omega_y = \alpha$, отримаємо після проектування на відповідні осі:

$$A\dot{\alpha} - H\dot{\beta} \cos \beta = M_\eta; \quad (4)$$

$$B\ddot{\beta} - H\dot{\alpha} \cos \beta = M_x. \quad (5)$$

У цих рівняннях α і β – кути повороту щодо осей зовнішньої і внутрішньої рамок; A – момент інерції системи відносно осі зовнішньої рамки (осі O_η) і B – момент інерції внутрішньої рамки щодо її осі (O_x).

При малих значеннях кута β можна покласти $\cos \beta \approx 1$. переходячи до символічного запису диференціальних рівнянь і вводячи алгебраїчний оператор диференціювання $p = \frac{d}{dt}$, отримаємо лінеаризовані рівняння:

$$Ap^2\alpha - Hp\beta = M_\eta; \quad (6)$$

$$Bp^2\beta + Hp\alpha = M_x. \quad (7)$$

У ці рівняння не входять не самі оригінали функцій $\alpha(t)$ і $\beta(t)$, а їх зображення. У рівняння (6) і (7) можна записати кути повороту підвісу:

$$\alpha = \frac{M_x}{Hp(1+T^2p^2)} + \frac{BM_\eta}{H^2(1+T^2p^2)} =$$

$$= W_1(p)M_x + W_2(p)M_\eta;$$

$$\beta = \frac{AM_x}{H^2(1+T^2p^2)} + \frac{M_\eta}{Hp(1+T^2p^2)} =$$

(8)

$$= \frac{A}{B}W_2(p)M_x + W_1(p)M_\eta,$$

(9)

Де $T^{-2} = q^2 = \frac{H^2}{AB}$ – квадрат кругової частоти нутаційних коливань гіроскопа.

Введені передатні функції гіроскопа:

$$W_1(p) = \frac{1}{Hp(1+T^2p^2)};$$

(10)

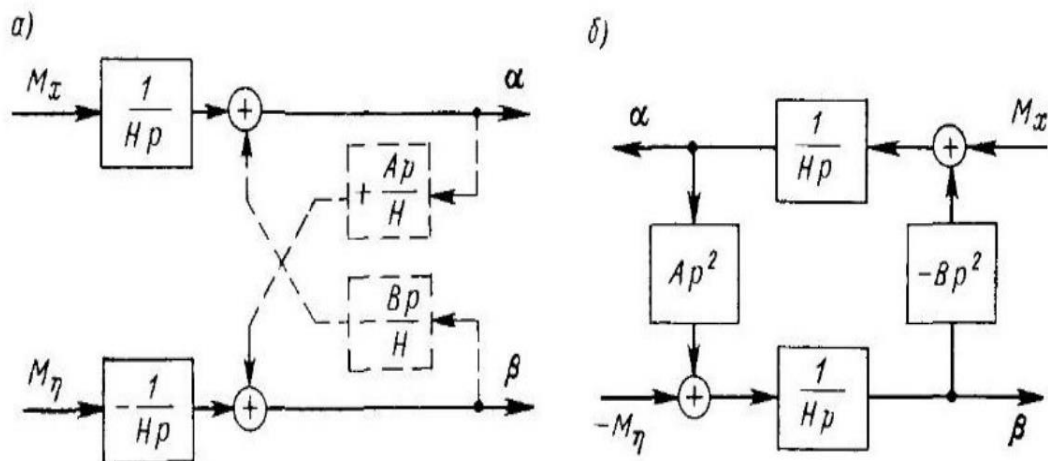


Рис.1.3 – структурні схеми вільного гіроскопа

Структурні схеми на рис. 1.3 є вихідними схемами. Вони можуть змінюватися і ускладнюватися у зв'язку з тими функціональними залежностями, які притаманні моментам на осях підвісу в кожному конкретному випадку. Ці моменти можуть залежати, наприклад від α , β , $\dot{\alpha}$, $\dot{\beta}$ та ін.

Треступеневий гіроскоп у пружному кардановому підвісі.

Наведено двоступеневий кардановий підвіс, коли вісь внутрішньої рамки не може важжатись абсолютно жорсткою. На рис 1.4. показано кути, які лежать у площині $\xi O \zeta$ та перпендикулярній до площини зовнішньої рамки.

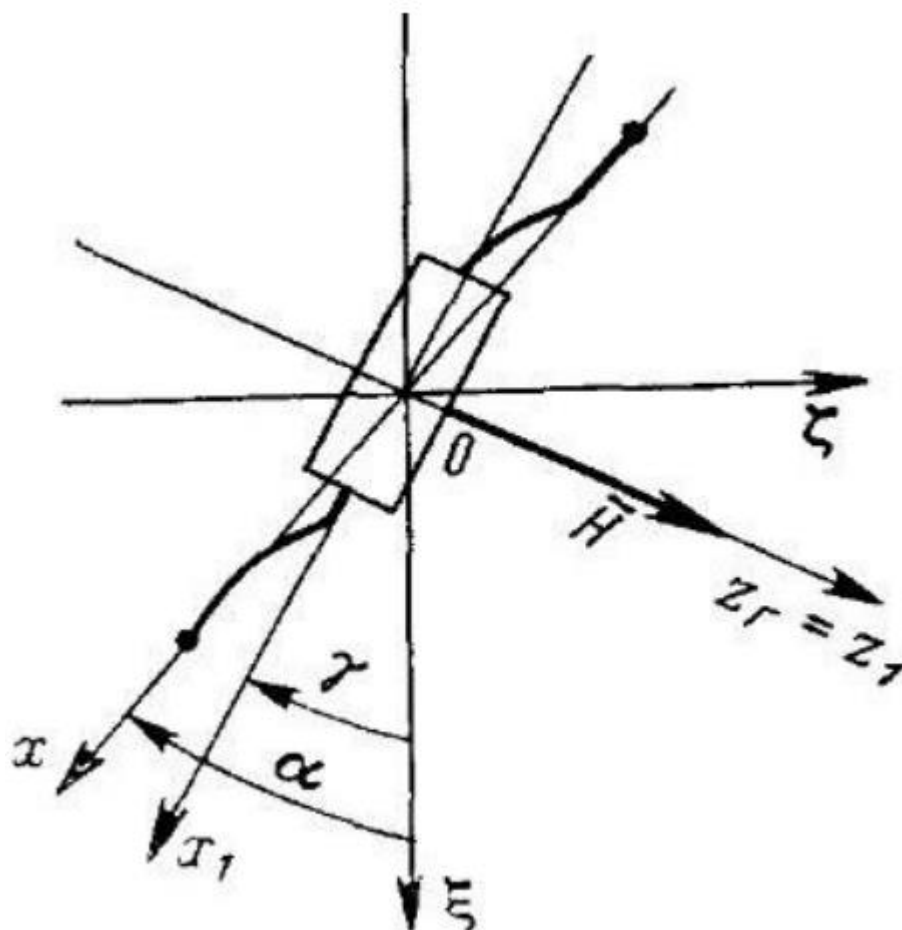


Рис. 1.4 – гіроскоп у пружному кардановому підвісі

Маємо, що замість (6) і (7) отримаємо лінеаризовані рівняння руху гіроскопа:

$$Ap^2\alpha + R(\alpha - \gamma) = M_\eta; \quad (11)$$

$$Bp^2\beta + Hp\gamma = M_x; \quad (12)$$

(13), де \cdot – жорсткість підвісу кожуха гіроскопа відносно зовнішнього кільця.

При умові, якщо не враховувати в цих рівняннях кут \cdot , то отримаємо два рівняння, які визначають кут стабілізації β і кут прецесії α :

$$RH(1 + T^2 p^2) p \alpha + RBp^2 \beta = HpM_\eta + RM_x; \quad (14)$$

$$(Bp^2 + RB + H^2) p^2 \beta + RHp \alpha = R(1 + T^2 p^2) M_x. \quad (15)$$

Формули:

$$q_1 = \frac{1}{T_1} = \sqrt{\frac{R}{A}}. \quad (16)$$

$$q_2 = \frac{1}{T_2} = \sqrt{\frac{R}{B}}. \quad (17)$$

Виражають частоту вільних коливань пружного підвісу.

1.3. Струнні акселерометри

Ці акселерометри відносяться до приладів вимірювання прискорення з частотним виходом. Принцип дії струнних акселерометрів заснований на властивості струни змінювати частоту власних коливань при її натягу.

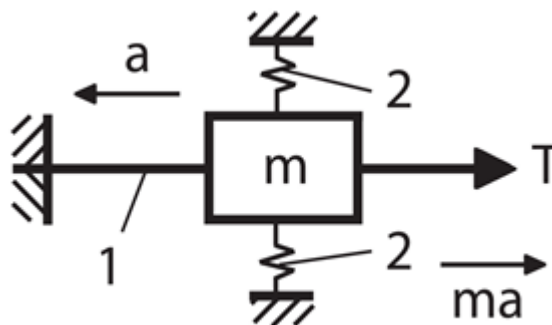


Рис. 1.5. – Схема простого струнного акселерометра

На рис. 1.5 показано схему струнного акселерометра. Вплив на інерційну масу m , укріплену на розтяжках 2, та прискорення a , то сила натягу струни зміниться на величину ma , а частота власних коливань:

$$f = \frac{1}{2L} [(T_0 + ma/s) / \rho]^{0.5}, \quad (18)$$

Де L – довжина струни; T_0 – початковий натяг; ρ – щільність матеріалу струни; s – площа поперечного перерізу струни.

Процес збудження коливань і зняття частоти: струна розміщується в постійному магнітному полі. При коливаннях в ній виникатиме ЕРС, що підсилиться і вийде; для підтримки коливань використовується позитивний зворотній зв'язок. Щоб усунути складовий зворотній зв'язок, струна додана в мостову схему. Функціональна схема збудження коливань струни і знімання частоти, яка названа струнним генератором, подана на рис. 1.6.

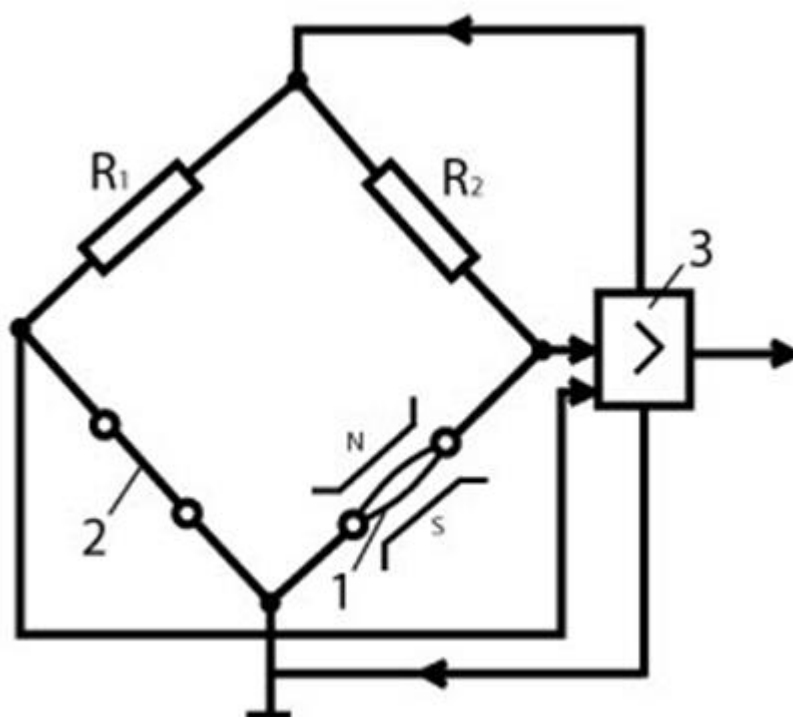


Рис. 1.6 – Струнний генератор

Струна 1 додана в мостову схему, в інше плече якої підключається компенсаційна нерухома струна 2, що є еквівалентною робочій струні. Опори R_1 і R_2 – рівні. Компенсаційна і робоча струни разом з опорами R_1 і R_2

утворюють рівноплечий електричний міст, одна діагональ якого a – a підключена до входу підсилювача зворотного зв'язку 3 , інша діагональ b – b – до його входу. Дана система працює як генератор незатухаючих коливань з частотою, рівній частоті власних коливань струни; при наявності a змінюється в залежності від його величини у формулі (18).

Вимірюючи частоту f , можна спостерігати за зміною прискорення приладу, який встановлений на об'єкті.

По формулі (18) видно, що СА має нелінійну характеристику, то розкладаючи цей вираз у ряд, маємо:

$$f = f_0 \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{sT_0} a - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{m}{sT_0} \right)^2 a^2 + \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{m}{sT_0} \right)^3 a^3 - \dots \right], \quad (19)$$

Де $f_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{T_0 / \rho}$ – частота власних коливань струни при відсутності прискорення.

Воно справедливе при $ma/s \ll T_0$. Відповідно до (19) відхилення частоти від свого початкового значення:

$$\Delta f = f - f_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{mf_0}{sT_0} a \left[1 - \frac{1}{4} \cdot \frac{m}{sT_0} a + \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{m}{sT_0} \right)^2 a^2 - \dots \right], \quad (20)$$

Можна вважати лінійною функцією від прискорення a . Похибка такої лінеаризації не буде перевищувати першого з відкинутих членів розкладання:

$$\delta \leq 0.25 \frac{ma}{sT_0} \quad (21)$$

Диференційна схема рис. 1.7 СА, має більш високу лінійність.

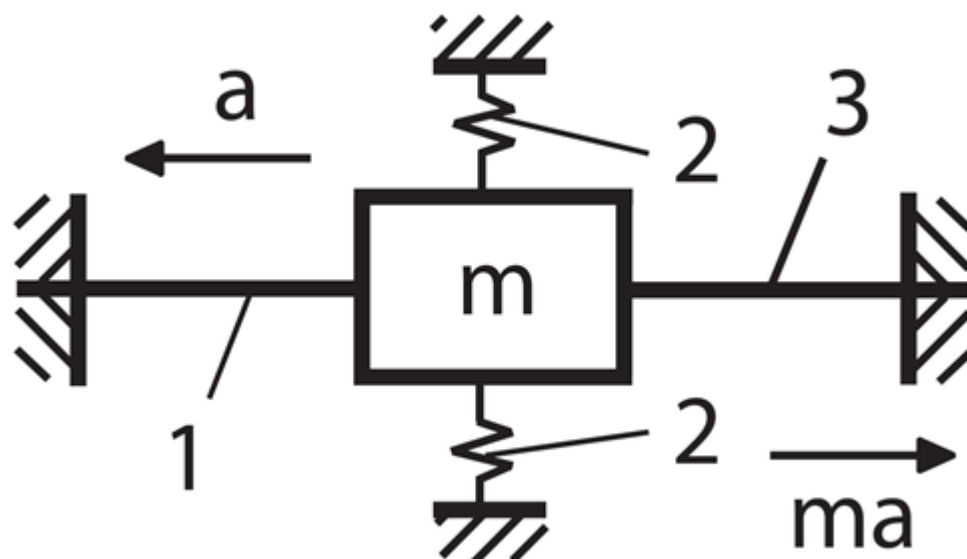


Рис. 1.7 – Диференційна схема струнного акселерометра

У цій схемі СА під дією a змінюється натяг двох струн 1 і 3, з'єднаних з m , укріпленої на розтяжках 2.

$$f_1 - f_2 = \frac{1}{2L} [(T_0 + 0.5ma/s) / \rho]^{0.5} - \frac{1}{2L} [(T_0 - 0.5ma/s) / \rho]^{0.5}. \quad (22)$$

Якщо $T_0 \gg 0.5ma/s$, то перетворюючи вираз (22) у ряд:

$$f_1 - f_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{mf_0}{sT_0} a \left[1 + \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{ma}{sT_0} \right)^2 + \dots \right],$$

Отримаємо, що не лінійність диференціального СА не перевищить величину:

$$\delta \leq 0.25 \cdot \left(\frac{ma}{2sT_0} \right)^2. \quad (23)$$

Якщо порівняти (20) і (22), то помітимо, що диференційний СА володіє більш високою лінійністю, порівняно зі звичайним.

Для того аби СА мав лінійну залежність частоти від a , необхідно вводити спеціальний коригувальний вплив. Закон зміни коригувального впливу $T(a)$ для простої схеми СА:

Нехай $f - f_0 = k a$, де k – коефіцієнт пропорційності, і

$$f = \frac{1}{2L} \left\{ \left[T_0 + \frac{ma}{s} + T(a) \right] / \rho \right\}^{0.5}. \quad (24)$$

І з урахуванням виразу для f_0 , маємо:

$$T(a) = (T_0 k^2 / f_0^2) a^2 + (2kT_0 / f_0) a - ma / s, \quad (25)$$

Корекція повинна бути лінійно квадратичною, але при

$$k = \frac{mf_0}{2sT_0}, \quad (26)$$

Корекція буде суто квадратичною.

За допомогою цього ж самого способу можна знайти для диференційного СА. Нехай різниця частот двох струн мала лінійну залежність від a , то $f_1 - f_2 = ka$ або

$$f_1 - f_2 = \frac{1}{2L} \left\{ \left[T_0 + \frac{ma}{2s} + T(a) \right] / \rho \right\}^{0.5} - \frac{1}{2L} \left\{ \left[T_0 - \frac{ma}{2s} + T(a) \right] / \rho \right\}^{0.5}. \quad (27)$$

Взявши до уваги вираз для f_0 , залежність (23) можна подати в іншому вигляді:

$$\left[1 + \frac{ma}{2sT_0} + T(a)/T_0 \right]^{0.5} - \left[1 - \frac{ma}{2sT_0} + T(a)/T_0 \right]^{0.5} = ka / f_0. \quad (28)$$

Розрахунком даного виразу відповідно до $T(a)$ можна подати у вигляді:

$$T(a) = m^2 f_0^2 / (4k^2 s T_0) - T_0 + k^2 T_0 a^2 / (4 f_0^2). \quad (29)$$

При умові (25) відповідатиме диференційному СА, то закон зміни коригувального впливу, залежно від $T(a)$, матиме вигляд:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$T(a) = \frac{ma^2}{16T_0s^2} . \quad (30)$$

При цьому

$$f_1 - f_2 = \frac{mf_0}{2sT_0} a. \quad (31)$$

Для реалізації отриманого закону введення корекції (30) є підтримка постійної і рівної частоті еталонного кварцового генератора суми частот двох струн. Різниця квадратів частот двох струн з урахуванням $T(a)$ представлена у вигляді:

$$f_1^2 - f_2^2 = \frac{ma}{4L^2 \rho s}, \quad (32)$$

Звідси

$$f_1 - f_2 = \frac{ma}{4L^2 \rho s(f_1 + f_2)}, \quad (33)$$

Або

$$f_1 - f_2 = \frac{mf_0^2 a}{T_0 s(f_1 + f_2)}. \quad (34)$$

Значить, лінійна залежність різниці частот двох струн від прискорення при підтримуванні їх суми постійної. Для однакових струн:

$$f_1 - f_2 = 2f_0 . \quad (35)$$

Якщо підставити (33) у (34), отримаємо $f_1 - f_2 = mf_0 a / (2s_0)$, що збігається із (30), який і визначає зміну різниці частот двох струн у залежності від a при введенні корекції за законом (29).

Це говорить нам про те, що підтримка суми частот двох струн постійно реалізує закон зміни коригувального впливу відповідно до (29). Також, стабілізація сумарної частоти диференційного СА усуватиме температурні похибки, пов'язані з різними коефіцієнтами розширення струни і корпуса приладу.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

По розглянутим класифікаційним ознакам, прилад є одноосьовим лінійним акселерометром із поступальним переміщенням рухливої системи. Спосіб підвісу рухливої системи – механічний. Сили реакції підвісу є пружні сили. Різниця частот власних коливань струн є фізичним параметром, що визначає силу реакції підвісу.

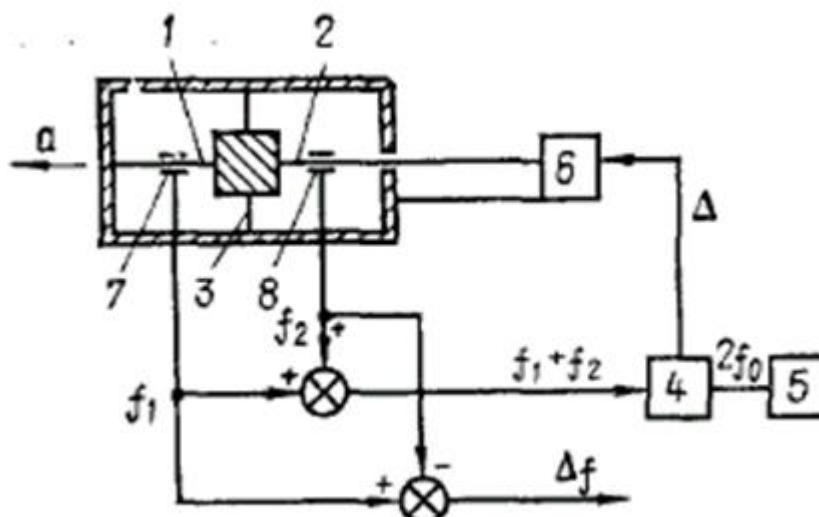


Рис. 1.8 – схема спрощеного диференційного акселерометра

Розглянуті вище похибки лінеаризації відносяться до методичних похибок. Для того щоб забезпечити строгу лінійну залежність частоти від прискорення, можна ввести коригувальний вплив.

Спрощена схема такого акселерометра показана на рис. 1.8. Інерційна . підвішена на двох натягнутих струнах 1 і 2, рівнобіжних вимірювальній осі. Ступінь волі руху маси збігається з вимірювальною віссю, а для виключення руху в поперечному напрямку застосовується пружний підвіс 3, твердість якого в напрямку вимірювальної осі суттєво менше твердості струн. Частоти вимірюють за допомогою пристроїв 7 і 8, що приймають коливання струн і електричні сигнали, які діють на виході. Щоб забезпечити лінійність характеристики акселерометра суму f_1+f_2 , підтримують постійною за допомогою пристрою 4. Дія його полягає в порівнянні регульованої частоти f_1+f_2 з подвоєною еталонною $2f_0$ сигналу, вироблюваного кварцовим

генератором 5. Різниця $\Delta = (f_1 + f_2) - 2f_0$ використовується для керування механізмом натягу струни 6. Результатом автоматичного регулювання натягу струн є $\Delta \rightarrow 0$ і вихідний сигнал акселерометра матиме вигляд $\Delta f = ka$, де k – постійна приладу що характеризує його чутливість.

У деяких випадках, методикою регулювання натягу струн для підтримки стабільності сумарної частоти, є нагрівання струн за допомогою струму, який протікає по струні.

Інструментальна похибка СА визначається зміною чутливості k унаслідок різних впливів при експлуатації приладу. Величина k є функція ряду параметрів: $k(m, T_0, d, \rho, L)$.

Зміна цих параметрів може виникати внаслідок впливу температури або впливу навколишнього середовища на коливні частини, із-за чого можуть змінюватися розміри і модуль пружності елементів конструкції, а також нестабільна робота генератора. Також варто врахувати похибки автоматичного регулювання натягу струн, похибку при вимірюванні частот. На чутливість СА впливають особливі сполучення струн з m і корпусом приладу, відносна величина повздовжньої і поперечної твердості підвісу m . Також на точність може впливати явище, яке виникає при вимірі малих прискорень коли спостерігається взаємний вплив коливних струн внаслідок механічного зв'язку через тіло m і корпус приладу. Для усунення цього явища, використовують ємнісні фільтри, або застосовують струни різної довжини з кратними частотами. При розробці СА необхідне тверде закладення кінців струн для виключення поворотів крайніх перетинів струн і розсіювання енергії через місця кріплення, це потрібно для того щоб, зменшити ряд похибок, які властиві СА. Температурні коефіцієнти лінійного розширення основи і струн повинні бути однаковими, щоб уникнути зміни натягу струни при зміні температури. Для цього потрібно якісно закладати кінці струн, та матеріал який матиме стабільні характеристики. Відомі в даний час акселерометри подібного типу мають поріг чутливості $10^{-6} g$.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

2. Принцип роботи та конструкція струнного акселерометра

2.1. Конструкція вібраційного акселерометра

Схема зображена на рис. 2.1 - конструкція струнного акселерометра. На корпусі 1, за допомогою струни 2, підвішений вантаж 3 масою M . Щоб підтримувати коливання струни, до конструкції вносимо постійний магніт 4, а кінці 2 підключаємо до підсилювача 5. Струна повинна бути виготовлена з матеріалу, наприклад берилієва бронза, який має невеликий електричний опір. Щоб уникнути горизонтального переміщення вантажу 3, його фіксують до корпусу 1 за допомогою стрічкових пружин 6.

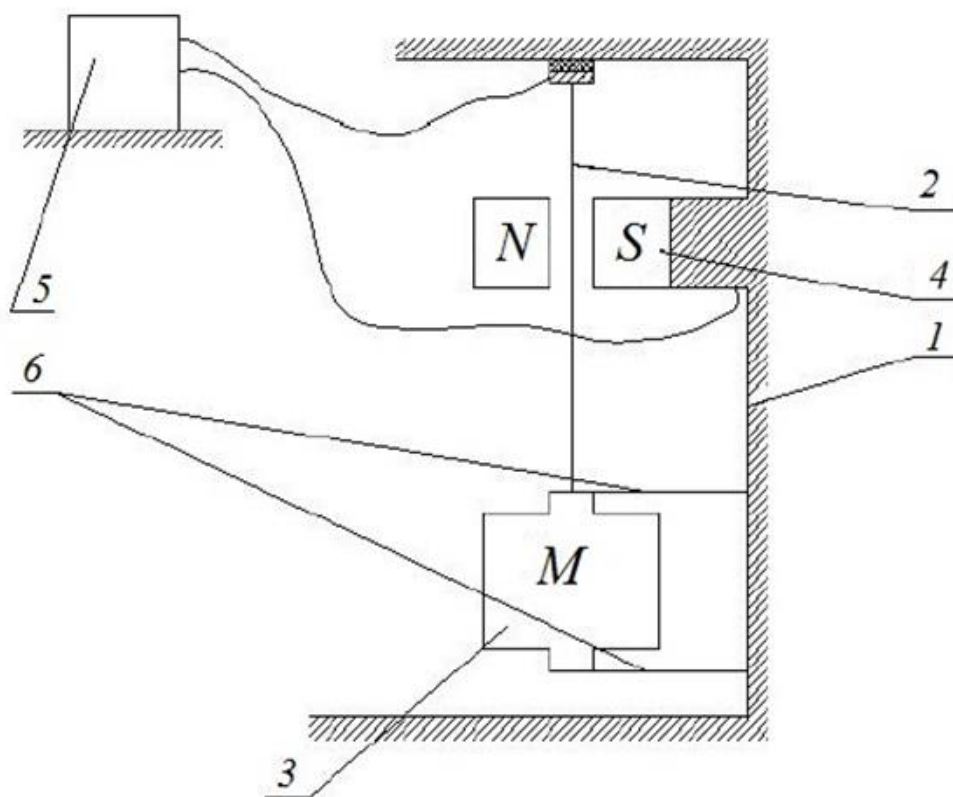


Рис. 2.1 – схема конструкції СА

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ

Лист

24

1 – корпус, 2 – струна, 3 – вантаж, 4 – постійний магніт, 5 – підсилювач (генератор), 6 – пружини

Прийнявши систему струнного акселерометра за ідеальну, в якій струна має ідеальну гнучкість і амплітуда поперечних коливань нескінченно мала, то частоту поперечних коливань можемо визначити як:

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\lambda S}} = K \sqrt{g}, \text{ де } K = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\lambda S}}$$

В цьому випадку M – маса вантажу, l – довжина струни, S – площа поперечного перерізу струни, λ – густина матеріалу струни.

Взявши рівняння під диференціал отримаємо:

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{1}{4l} \cdot \frac{m}{\lambda} \cdot \frac{\Delta g}{g}$$

Тобто при зміні частоти пропорційно змінюється прискорення.

В нашому випадку для точності роботи всієї системи стабілізації озброєння, струнний елемент повинен бути стійким до зовнішніх факторів. Одним із таких факторів є вібрації.

Щоб максимально зменшити вплив вібрації на роботу елемента, вантаж цієї системи потрібно демпфірувати, тому використаємо магнітне демпфірування.

Процес демпфірування відбувається за алгоритмом рис.2.2. Вантаж 3 виготовляємо з міді так, щоб основна маса знаходилась у полі сильного постійного магніту 7. Також, для більшої ефективності, можна демпфірувати всі пружні елементи, які знаходяться в струнному акселерометрі, окрім струни [9].

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		25

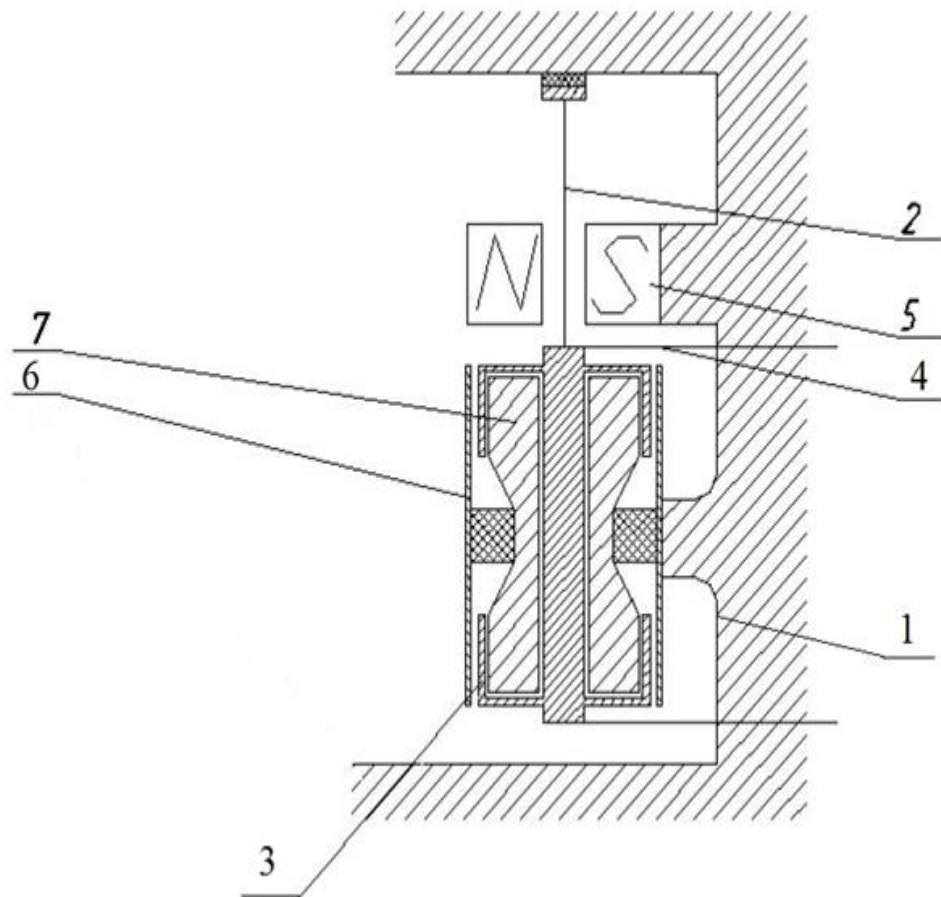


Рис. 2.2 – Схема СА після демпфування

1 – корпус, 2 – струна, 3 – вантаж, 4 – стрічкова пружина, 5,6,7 – постійний магніт

2.2. Опис принципу дії чутливого елементу

В якості вібраційного ЧЕ в системі струнного акселерометра використовують струну рис. 2.3.

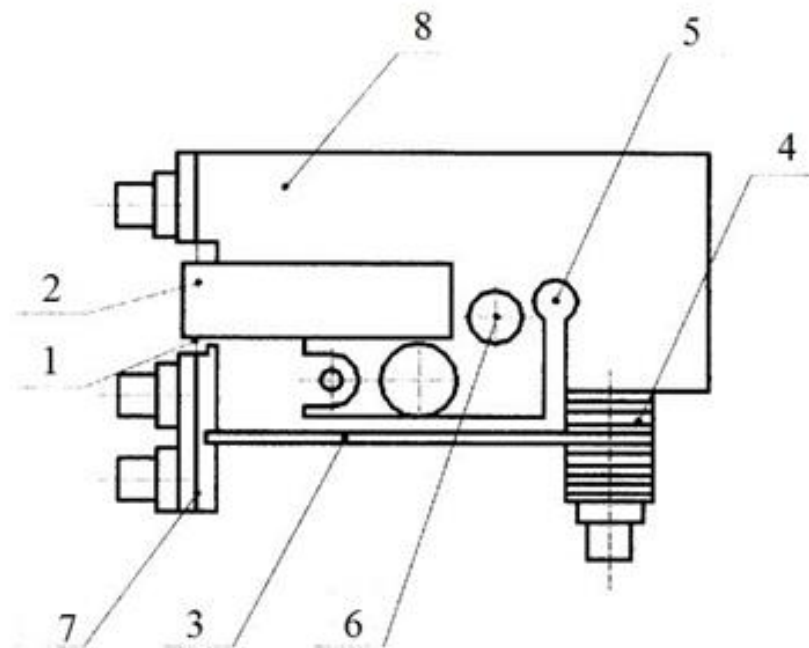


Рис 2.3 – струнний чутливий елемент

По струні 1 протікає змінний струм і під час взаємодії з полем постійного магніту 2 виникає ЕРС, яка змушує струну коливатися. Щоб підтримувати незатухаючі коливання, в конструкцію введено схему збудження, яка представлена у вигляді підсилювача зі зворотнім зв'язком [10].

Під час дії на акселерометр прискорення вздовж струни, вантаж 7 на пружному підвісі 3 розтягує (стискає) струну, змінюючи її натяг, а значить і частоту коливань, за величиною якої судять про прискорення. В попередньому пункті ми встановили, що залежність між частотою і прискоренням для струнного акселерометра є однозначною, тому, для того щоб лінеаризувати характеристики використовують диференціальну схему побудови [10].

Чим вище стабільність частоти коливань струни, тим точніші значення вимірювання прискорення ми отримуємо. Так як частота коливань струни істотно залежить від її механічної напруги, тому показники акселерометра можуть бути спотворені внаслідок зміни механічної напруги в силовому ланцюзі натягу струни.

Також, значну увагу приділяють напрузі у місцях кріплення чутливого елемента 6 до основи акселерометра. Дана напруга може змінюватись від зовнішніх механічних збурень, що погіршується під час кріплення елемента, і може ускладнювати налаштування приладу, тому погіршується його точність.

Введення розв'язуючого паза 5 на корпусі 8 чутливого елемента дозволяє вивести місце кріплення за межі силового ланцюга натягу струни, усуває передачу напружень від місця кріплення до струни і, навпаки, зміна зусиль в місцях закладення струни при її коливаннях не передається до основи акселерометра. Це реалізується завдяки компенсації всіх реакцій і моментів в точці кріплення струни і часткового демпфірування пружних хвиль деформації від нижнього закладення струни при проходженні через набір пластин 4 з різних за властивістю матеріалів матеріалів [10].

За рахунок вибору матеріалу і товщини корпусу 8, пластин 4, довжини струни 1 і їх коефіцієнтів лінійного розширення ми практично виключаємо температурну похибку, оскільки температурне розширенням (скорочень) струни і корпусу є однаковим. Процес компенсації реакцій в місцях кріплення струни подібний до процесу виключення впливу опорів на стабільність коливань в симетричних камертонах [10].

2.3. Матеріал для розробки струнного акселерометра

Ключовим елементом струнного акселерометра є струна. Щоб струнний акселерометр працював коректно і видавав точні вихідні характеристики, потрібно врахувати ряд питань [11]:

- Який матеріал краще використати для виготовлення струни;
- Як конструктивно помістити струну;
- Які геометричні параметри повинна мати струна.

Система акселерометру повинна задовольняти такі умови: міцність до вібрацій, незалежність від температури, фіксоване число коефіцієнта лінійного розширення від температури, мінімальні втрати коливальної системи.

В різноманітних струнних пристроях струну виготовляють з вольфраму, вуглецевої сталі, елінвару або берилієвої бронзи з прямокутним поперечним перерізом. В деяких конструкціях можна побачити струну з круглим поперечним перерізом, але даний тип не рекомендується використовувати із-за прецесії коливань, які несуть нестабільність на частоту струни.

Щоб максимально зменшити квадратичність вихідної характеристики та виникнення можливих резонансів, струну потрібно виготовити з тензо-чутливого матеріалу. В табл.1 вказано деякі тензо-чутливі матеріали, що мають лінійну залежність зміни внутрішнього опору R від дії прискорення.

Табл. 1 – параметри матеріалів струн [13]

Назва	Матеріал		
	Константан МНМц-40-1,5	Сплав НМ23ХЮ	Бронза берилієва
Коефіцієнт тензочутливості, S	2,1	$2,1 \pm 0,05$	2,2
Діаметр, d , мкм	10; 20; 30	10; 20; 30	10; 20; 30
Питомий опір, ρ_n , Ом·мм ² /м	0,46...0,52	1,45... 1,60	0,68
Температурний коефіцієнт опору, $\alpha_R \cdot 10^{-6}$, 1/°C	-20...110	<35	-20...110
Модуль пружності, E , Па	$1,48 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{11}$	$1,29 \cdot 10^{11}$
Межа міцності при розтягуванні, σ_B , Па	$65 \cdot 10^7$	$130 \cdot 10^7$	$140 \cdot 10^7$
Коефіцієнт Пуассона, σ			0,32...0,36

Враховуючи дані таблиці, для нашого акселерометра найкращим матеріалом при виготовленні струни буде берилієва бронза.

2.4. Способи кріплення струни в акселерометрі, та акселерометра на рухомій платформі

Для забезпечення стабільності коливання струни, потрібно створити надійну систему коливання. Для цього струні 1 виробленої з берилієвої бронзи, надають сплющеної форми зі деяким ступенем нагартування. Зону кріплення струни піддають шліфуванню для забезпечення мінімальних втрат енергії. Процес проводиться при спеціальних умовах, що забезпечують жорстку фіксацію елементів, відстань між якими відповідає робочій довжині струни.

При всіх цих виконаних умовах, ми забезпечуємо добротність коливальної системи ($Q = 2 - 3$ тис.) і стійкий рівень сигналу, який знімається з чутливого елементу. За допомогою точкового лазерного зварювання фіксуємо вузли кріплення елементу. Це забезпечить стабільність параметрів після установки елементу.

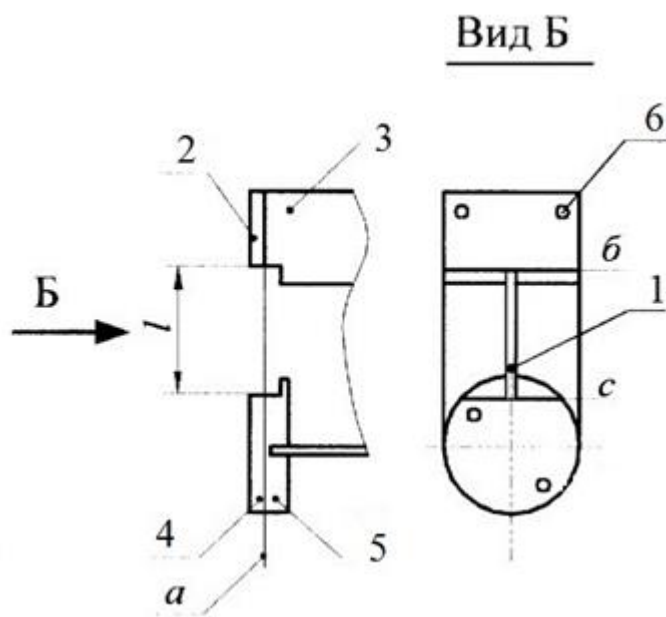


Рис. 2.4 – спосіб кріплення струни

На рухомій платформі, СА повинен бути надійно закріплений. Для цього використаємо болти М5 в кількості 4 шт. з параметрами, що записані в табл. 2.

Табл. 2 – параметри болта М5

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		30

Параметр	Значення
Номінальний діаметр, d	5 мм
Висота головки, k	3.5 мм
Крок різьби	0.8 мм
Довжина стержня, l	20 мм
Довжина різьби	15 мм

2.5. Реєстрація вихідного сигналу

Реєстрація параметрів здійснюється на багатоканальний реєструючий пристрій. Сигнали СА і вимірювача вертикальної швидкості порівнюються за значеннями частоти з сигналом певної еталонної частоти f_e . Відповідні канали реєструють обчислені значення частот $\Delta f_j = f_j - f_e$. На носіях проводяться відповідні секундні відмітки часу, які передаються від кварцового годинника або контактного хронометра рис.2.6. Еталонна частота f_e для кожного приладу вибирається в умовах збурюючих прискорень і змінної вертикальної швидкості установки не відбувалося зміни знака [18].

Максимальна величина частоти ударів обмежується можливостями реєстратора і швидкістю протягання стрічки. Реєстратори типу Н-230 і Н-326 можуть реєструвати струм з максимальною частотою до 6-8 мГц при швидкості протягання стрічки 10 мм/сек. Зробимо середню не збуджену частоту ударів в діапазоні 3-4мГц, щоб під час руху вона змінювалась в межах від 0 до 6-8 Гц.

Для того, щоб виконати вказані умови за наявності динамічних прискорень до $0,5 \frac{m}{c^2}$, потрібно частоту сигналу акселерометра 1000 Гц, понизити до 120-125

Гц, шляхом ділення частоти на 8. На даній частоті ціна одного циклу $\frac{2j}{f} \approx 0,2 \frac{m}{c^2}$.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		31

Еталонна частота f_e повинна мати відносну стабільність $(2 \cdot 10^{-7})$. Вона виробляється за допомогою термостатичного кварцового генератора і дільника частоти. Для каналу контрольного запису свідчень акселерометра потрібно брати еталонну частоту $f_e = 1000/8 = 125$ Гц. З цих міркувань частота струнного акселерометра приблизно дорівнює 975 Гц.

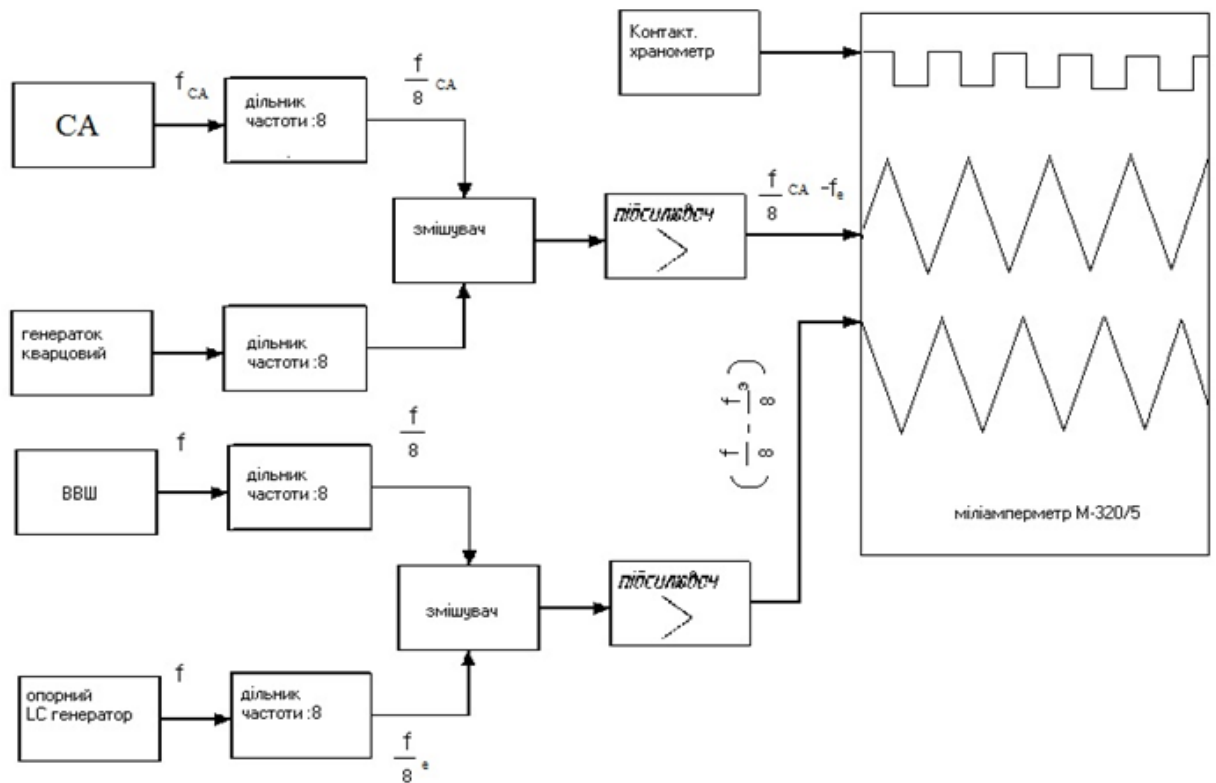


Рис. 2.6 – схема реєстрації вихідного сигналу

Обробка одиничного показу з носія зроблена з точністю $\delta\lambda = 0,1 - 0,2$ циклу. Якщо час усереднення $\Theta = 120$ с і $\tau = 120$ с. (при $\Delta t = 1$ с, $K = 120$), то одержимо похибку під час зняття усередненого відліку на акселерометрі:

$$m_g = \frac{C\sqrt{12}}{\Theta\sqrt{K}} \delta\lambda \approx \frac{16 \cdot 10^3 \sqrt{2}}{120\sqrt{120}} \delta\lambda \approx 0,02 - 0,04 \text{ м} \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

приблизно 2100 Гц. Це значення також ділять на 8, а потім порівнюють за частотою зі східчастим LC-генератором, що має відносну точність не більше 10^{-3} .

Таким чином, показання вимірювача вертикальної швидкості на стрічці реєструються у вигляді частоти

$(\frac{f}{8} - F_s)$. Ціна розподілу одного циклу буде становити 16 см.

Частоту опорного LC-генератора встановлюють так, щоб при нульовій вертикальній швидкості різницева частота $(\frac{F}{8} - F_s)$ дорівнювала 4 Гц. В такому випадку, при зміні вертикальної швидкості в межах $\pm 0,64$ м/сек, різницева частота буде знаходитись в діапазоні від 0 до 8 Гц.

Якщо точність знімання значень акселерометра з носія $\delta\lambda \approx 0,2$ циклу, то похибка обчислення дорівнює:

$$m_z = \frac{\sqrt{16^2 + \left(40 \frac{\rho_0}{\rho}\right)^2} \cdot 2 \cdot \delta \cdot \lambda \cdot 10^3}{120 \cdot 1202} \approx 0,02 \frac{M}{c^2}$$

3. Математична модель та основні розрахунки ЧЕ

3.1. Математична модель ЧЕ

Струну можна описати як механічну коливальну систему [11].

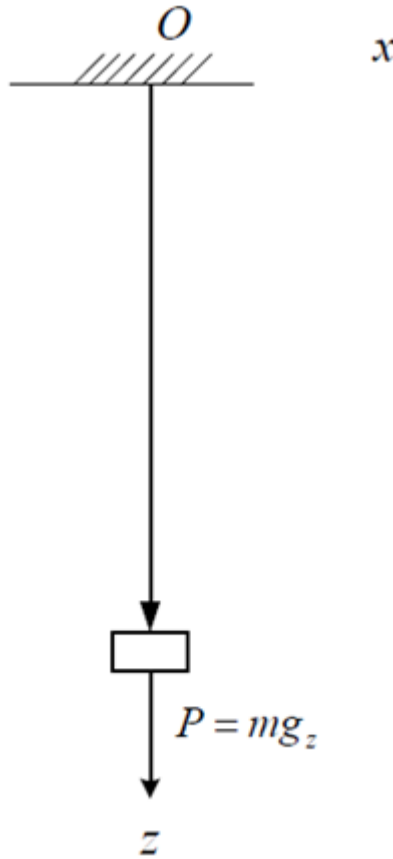


Рис. 3.1 – коливальна система струнного акселерометра

Запишемо вираз для знаходження сили тяжіння P , що діє на інерційну масу:

$$P = mg_z, \quad (3.1)$$

Де g_z – прискорення, m – маса.

Так як сила опору руху, сила пружності і сила прискорення впливають на інерціальну масу, маємо рівняння для кожної з них [12].

Сила опору руху інерційної маси:

$$F_{on} = -n \frac{dx}{dt}, \quad (3.2)$$

Де n – коефіцієнт затухання.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						34
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Силу пружності знайдемо за законом Гука:

$$F_{np} = -kx, \quad (3.3)$$

Де x – зміна довжини струни, k – коефіцієнт пружності.

Запишемо рівняння (3.1) через (3.2) та (3.3):

$$mg_z = -n \frac{dx}{dt} - kx. \quad (3.4)$$

Сила інерції дорівнює $F_i = m \frac{d^2x}{dt^2}$, значить:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + n \frac{dx}{dt} + kx = -mg_z. \quad (3.5)$$

Запишемо рівняння руху СА, при інерційності конструкції СА [14]:

$$g_z = -\frac{k}{m}x.$$

Установку СА на СО легкої броньованої техніки характеризує рівняння (3.2):

$$F_{on} = -n \frac{dx}{dt},$$

Рівняння (3.5) розділимо на m , отримуємо [16]:

$$\ddot{x} + 2 \cdot \xi \omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = -g_z, \quad (3.6)$$

Використаємо перетворення Лапласа до (3.5):

$$mp^2 x(p) + np x(p) + kx(p) = -mg_z(p), \quad (3.7)$$

Де $x(p)$ – зображення інерційної маси за Лапласом, g_z – зображення прискорення сили тяжіння за Лапласом [14].

Передаточна функція СА має вигляд:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						35
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$W(p) = \frac{x(p)}{g_z(p)} = \frac{-m}{mp^2 + np + k}. \quad (3.8)$$

Або

$$W_{ca}(p) = \frac{K_{ca}}{T_1 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (3.9)$$

Де K_{ca} – статичний коефіцієнт СА, T_1 і T_2 – коефіцієнти сталої часу 2го порядку [14].

Перепишемо рівняння (3.7) з урахуваннями нелінійностей [15]:

$$m \ddot{x} + \ddot{x} [2n - L \sin(\omega t + \varepsilon)] + \omega_0^2 x = N \sin \omega t, \quad (3.10)$$

Запишемо (3.10) у вигляді [15]:

$$\ddot{x} + x M(t) + D(t)x = 0, \quad (3.11)$$

Де $M(t)$ та $D(t)$ – періодичні функції.

При $M(t) = \text{const}$:

$$\int_0^t M(t_1) dt_1 = \psi_t + M(t), \quad (3.12)$$

$$\text{де } \psi = 2n, M(t_1) = \int_0^t (M(t_1) - \psi) dt = \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)$$

Робимо заміну [15]:

$$x = e^{-\frac{1}{2} M_1(t)} x' = e^{-\frac{1}{2} \frac{L}{\omega} \cos(\omega t + \varepsilon)} x', \quad (3.13)$$

$$x'' + 2n x' + F(t)x' = 0, \quad (3.14)$$

$$\text{де } F(t) = \omega_0^2 + \nu_0 \sin(\omega t + e + \sigma).$$

Із урахуванням вищезазначеного [15]:

$$\ddot{x}' + 2n\dot{x}' + [\omega_0^2 + v_0 \sin(\omega t + e + \sigma_8)]x' = N \sin \omega t, \quad (3.15)$$

Рівняння (3.15) є повністю адаптованим для моделювання на електронно-обчислювальних машинах.

3.2. Розрахунок основних елементів чутливої системи

Струна є основним елементом в колі перетворення сили натягу на частоту коливань. З чого виходить важливим моментом, те з якого матеріалу її виготовляють. Матеріалом було вибрано берилієву бронзу, так як матеріал має малий електричний питомий опір, що дозволяє стабільній роботі вібраційних акселерометрів.

Модуль пружності та густина берилієвої бронзи відповідно дорівнює $E=12 \cdot 10^{10}$ Н/м², $\lambda=8,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Переріз струни вибираємо за величиною напруги. Значення σ/E становить в межах $0,8 \cdot 10^{-3}$. Беремо $\frac{2}{l} \sqrt{\frac{EI}{Mg}} = 0,8$. Щоб полегшити реєстрацію показань акселерометра беремо $f=975$ Гц.

Знайдемо параметри M (маса вантажу), l (довжина струни) та S (площа поперечного перерізу струни) із системи рівнянь:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\begin{cases} \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Mg}{\rho S}} = 975 \\ \frac{2}{l} \sqrt{\frac{EI}{Mg}} = 0,8 \\ \frac{\sigma}{E} = 0,8 \cdot 10^{-3} \end{cases} \quad (3.16)$$

Де $I = \frac{bh^3}{12}$, $h=b/10$, $\sigma=Mg/S$ і площа поперечного перерізу струни $S=b \cdot h$.

Після отримання результату (3.2) маємо:

$$M = 60 \cdot 10^{-3} \text{ кг};$$

$$l = 55 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$S = 0,00625 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$b = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$h = 0,025 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Початковий натяг струни:

$$F_0 = f_0^2 H \rho l^2 = 4,84 \text{ Н}$$

Максимальний натяг струни:

$$F_{\max} = F_0 + \Delta F$$

$$\text{Де } \Delta F = \frac{\Delta f_{\max}}{S} = 0,192 \text{ Н}$$

$$\underline{F_{\max}} = 5,032 \text{ Н}.$$

Умова міцності струни:

$$\sigma = \frac{F}{S_{\text{ном.пер.}}} \leq [\sigma],$$

$$\sigma = \frac{5,032}{0,25 \cdot 0,025} = 805,15 \text{ Н/мм}^2$$

Для берилієвої бронзи $[\sigma]_{\text{доп.}} = 2200 \text{ Н/мм}^2$

Тому $\sigma < [\sigma]$ параметри визначено вірно.

3.3. Розрахунок геометричних розмірів вантажу

Для розрахунку розмірів вантажу вибираємо матеріал з відносно високою густиною для зменшення температурного ефекту розширення демпфуючої рідини. Вибір пав на *тантал* ($\rho_g = 8,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$).

Матеріал для кріплення струни повинен відповідати вимогам:

- Менша твердість;
- Зберігається рівність температурних коефіцієнтів лінійного розширення матеріалу кріплення та матеріалу струни, для виключення температурної напруги;
- Слабомагнітний, для відсутності збуджуючих коливань.

Цим вимогам відповідає матеріал *латунь* $\rho_g = 8,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

З необхідності надійного кріплення струни до утримувача, а сам утримувач до вантажу та присутності зазору між площинами вантажу до обмежуючих пружин, задаємо значення рис. 3.2:

$a=2 \text{ мм}, b=8 \text{ мм}, c=6,5 \text{ мм}, e=1,5 \text{ мм}, d_1=4 \text{ мм}, d_2=12 \text{ мм}, d_3=10 \text{ мм},$

$m=6 \text{ мм}, k=6 \text{ мм}, n=3 \text{ мм}.$

Загальна маса вантажу та закріплювача:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						39
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$m = \rho_o V_o + \rho_z V_z = \rho_o \left(\frac{\pi d^2}{4} l + nm k \right) + \rho_z \left[\left(\frac{\pi d^2}{4} (b+c) + \frac{\pi d^2}{4} l + 2 \frac{\pi (d_4^2 - d^2)}{4} a - \frac{\pi d_3^2}{4} b - \frac{\pi d_1^2}{4} (c-l) \right) \right]$$

V_o, V_u - об'єм утримувача і вантажу. Значення цієї маси повинно бути більше за розраховане вище, оскільки необхідно врахувати дію демпфуючої речовини.

$$m = \frac{M}{1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_z}}, \text{ де } \rho_{ж} = 0.98 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - \text{густина демпфуючої речовини.}$$

$$\text{Звідси } m = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{1 - \frac{0.98 \cdot 10^3}{16 \cdot 10^3}} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

Попередньо вважаємо, що $g = 0.15d$, так як в зазорі між поперечними ребрами вводиться кільцевий виступ із зазором від 0,125 до 0,175 діаметра масивного тіла. Маємо $d_u = d + 0.6d = 1.6d$, та підставляємо у формулу для діаметра масивного тіла d :

$$d = \sqrt{\frac{m - \rho_o nm k - \frac{\rho_z \pi}{4} [d^2 e - d^2 b - d^2 (c+e)]}{\frac{\rho_o \pi}{4} l + \frac{\rho_z \pi}{4} (b+c+3.12a)}} = \sqrt{\frac{64 - 8.5 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 6 - \frac{\pi 16 \cdot 10^3}{4} [12^2 \cdot 15 - 10^2 \cdot 8 - 4^2 (6.5 + 1.5)]}{\frac{8.5 \cdot 10^3 \pi}{4} 3 + \frac{16 \cdot 10^3 \pi}{4} (8 + 6.5 + 3.12 \cdot 2)}} = 17.82 \text{ мм}$$

$g = 2.66 \text{ мм}$. Беремо $g = 2.5 \text{ мм}$, і маємо $0.14d$.

Результат $d = 18 \text{ мм} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

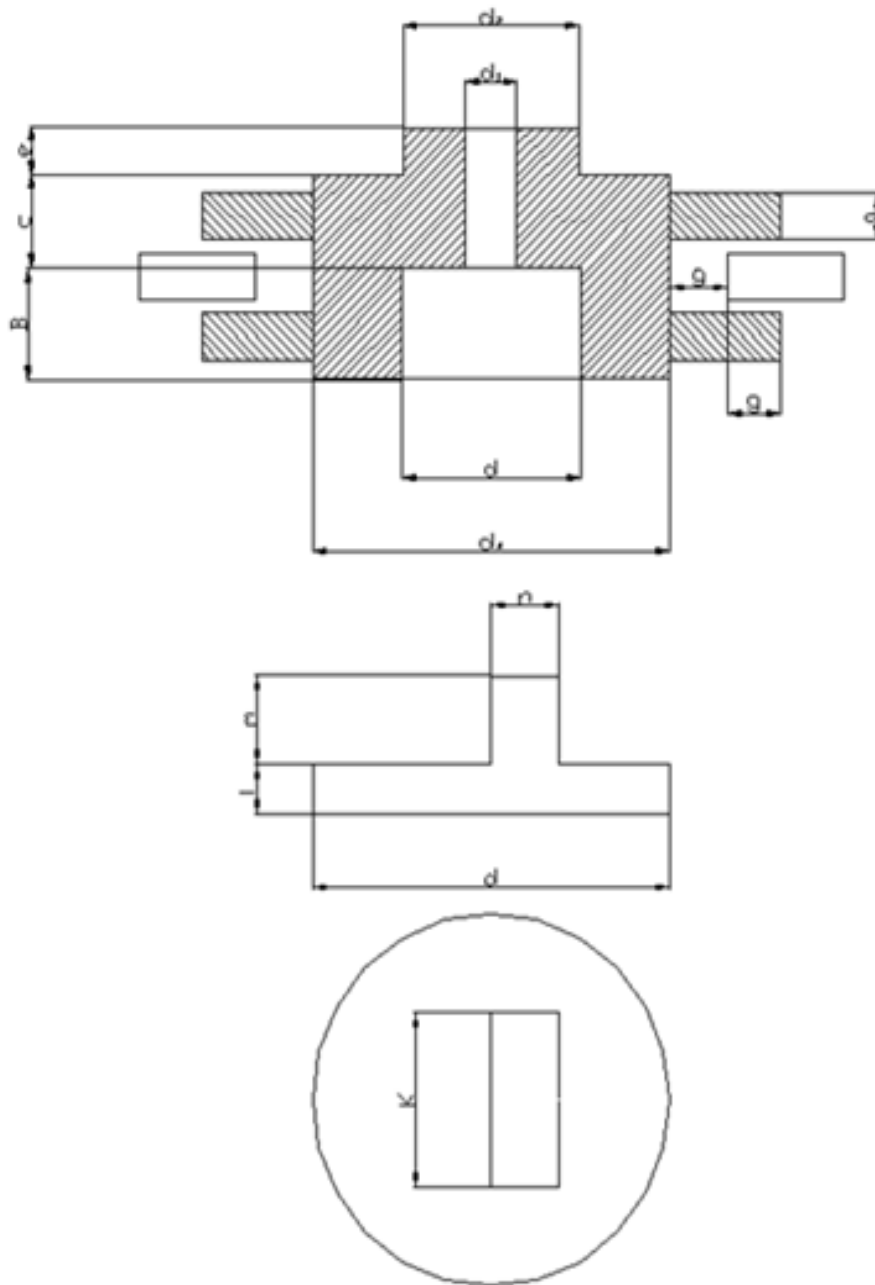


Рис. 3.2 – геометрія вантажу

3.4. Статичні характеристики акселерометра

3.4.1. Розробка структурної схеми

Щоб побудувати структурну схему, беремо до уваги принцип дії СА. В результаті отримаємо схему рис. 3.3.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		41

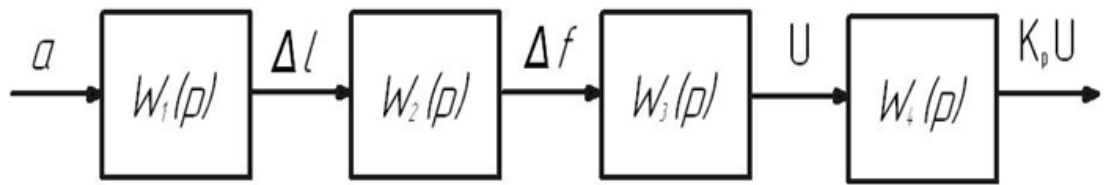


Рис. 3.3. Структурна схема СА

Передаточна функція першої ланки, відповідно до динамічного режиму з обліком інерційної рухомої системи, має вигляд:

$$W_1(p) = \frac{\frac{m}{c}}{\frac{m}{c}p^2 + \frac{R}{c}p + 1} \quad (3.4.16)$$

Де $P = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання.

Другий перетворювач змінює вхідний сигнал переміщення x на відповідну частоту коливань струни. Передатний коефіцієнт його:

$$K_2 = \frac{f}{x} \quad (3.4.17)$$

Відповідно до цієї залежності частоти f від розтягування струни x :

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Ex}{\rho l}} \quad (3.4.18)$$

Отримаємо для коефіцієнта K_5 :

$$K_2 = \frac{f^2}{x} = \frac{E}{4\ell^2 \rho}, \quad (3.4.19)$$

В результаті чого, передаточна функція має вигляд:

$$W_2 = \frac{E}{4\ell^2 \rho} \quad (3.4.20)$$

Вхідна величина третього перетворювача є частота коливань струни f , а вихідна – ЕРС, яка виникає в струні під час її знаходження у магнітному полі. Звідси маємо:

$$K_U = \frac{8iB^2 l_M l^4 f}{\pi^5 EJ} \left[\cos \frac{\pi(l-l_M)}{2l} - \cos \frac{\pi(l+l_M)}{2l} \right] \varphi_1(U), \quad (3.4.21)$$

Де: B – індукція поля магніту;

I – струм, що проходить через струну;

l_m - довжина струни в зоні її дії магнітного поля;

l - довжина струни;

J – Момент інерції поперечного перерізу струни.

Третій перетворювач матиме вигляд:

$$W_3 = K_U \quad (3.4.22)$$

Передатна характеристика підсилювача напруги:

$$W_4 = K_p, \quad (3.4.23)$$

Де K_p – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Передатна характеристика:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p) \quad (3.4.24)$$

Ця передатна функція виглядає, як коефіцієнт прямого перетворення і характеризується коливальним процесом.

3.4.2. Розрахунок точності струнного акселерометра

Точність перетворення a в електричний сигнал СА визначається величиною зсуву нуля, похибкою повної шкали, температурним та тимчасовою зміною цих параметрів. Важливі складові похибки є похибка лінійності і поперечна чутливість. Зсув нуля й чутливість СА при нормальних умовах коректуються при виготовленні. Залишкова похибка зменшується в ході калібрування й

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						43
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

запам'ятовування каліброваних констант у пам'яті мікро-контролера. Са калібрується двома методами: на вібростенді зі зразковим датчиком прискорення та з використанням сили ваги.

При використанні вібростенда:

- Можливість калібрування датчиків сприйнятливих тільки до змінного прискорення;
- Калібрування датчиків із a , яке набагато перевищує значення g ;

Недоліки:

- Велика вартість вібростенда;
- Проблема при закріпленні датчика при калібруванні на високих прискореннях;

Сила ваги при калібруванні:

- Дешеве устаткування;
- Малочутливий до похибки закріплення датчика;

Недоліки:

- Використовується тільки для датчиків сприйнятливих до постійного прискорення
- Не калібрують ся датчики з повною шкалою для перетворення високих прискорень.

Температурний зсув нуля й чутливості теж можна скомпенсувати.

Поперечна чутливість характеризує здатність перетворювача змінювати a в електричний сигнал, спрямована під прямим кутом до осі чутливості датчика. У паспортних даних приладу вказується части поперечного прискорення, що проходить на вихід.

Інструментальна похибка виникає внаслідок відхилу основних конструктивних параметрів вимірювального кола, від їх номінальних значень, неточності виготовлення та збірки та під дією зовнішніх сил [13].

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Ma}{\rho S}}$$

Інструментальна похибка розраховується за формулою:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		44

Значення прискорення сили тяжіння:

$$a = \frac{4l^2 \rho S f^2}{\mu} \quad (3.4.25)$$

Відносна похибка вихідного сигналу дорівнює сумі множин відносних похибок параметрів на показники ступенів цих параметрів.

$$\frac{\Delta a}{a} = 0.5 \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta S}{S} + 0.5 \frac{\Delta f}{f} - \frac{\Delta m}{m}$$

Ця похибка не більше, ніж

$$\frac{\Delta a}{a} = 0,2 \cdot 10^{-5}$$

1) Формула для розрахунку температурної похибки:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{Ma}{ml}}$$

Де $m = \rho S l$ – маса струни, яка при зміні температури залишається постійною. Довжина струни зі зміною температури змінюється по закону - $\Delta l = l \alpha_{стр} \cdot \Delta t$, $t = +50^\circ\text{C} \div -50^\circ\text{C}$.

$\alpha_{стр}$ – температурний коефіцієнт лінійного розширення матеріалу струни

Δt - величина зміни температури.

При цьому частота коливань струни змінюється:

$$\Delta f = \frac{\partial f}{\partial l} \Delta l$$

Де

$$\frac{\partial f}{\partial l} = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Ma}{m}} \cdot \frac{1}{l^2} \quad \text{і} \quad \Delta f = -\frac{1}{4} \sqrt{\frac{Ma}{m}} \cdot \frac{1}{l^2} \Delta l$$

Відносна зміна натягу струни від зміни температури:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right) = -\frac{1}{2} \alpha_{\text{н\ddot{o}д}} \Delta t \quad (3.4.26)$$

Для берилієвої бронзи $\alpha = 15 \cdot 10^{-6}$ 1/град. Температура СА підтримується термостатом з постійною похибкою $\pm 9,5^\circ\text{C}$, то:

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_1 = -\frac{1}{2} \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 7,5 \cdot 10^{-6}$$

2) Зміна густини матеріалу струни $\frac{\Delta \rho}{\rho} = 0$

3) Дія оточуючого середовища, виникає похибка від нестабільності частоти $\frac{\Delta f}{f}$ викликана зміною власних параметрів струни.

Дія тиску та вологості середовища на коливання струни зводиться до зміни приєднаної маси, яка коливається зі струною та зменшує її частоту. Зміна густини середовища, в якій коливається струна, характеризує вплив тиску та вологості на частоту коливань струни:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1 = -2 \frac{\rho_{\text{н\ddot{o}д}}}{\rho}, \text{ де } \rho = 8,8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/мм}^3$$

Для берилієвої бронзи,

$$\rho_{\text{ср}} = 1,7 \cdot 10^{-13} \text{ кг/мм}^3$$

Для повітря при $p = 10^{-2}$ мм рт.ст.

Маємо:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1 = -2 \frac{1,7 \cdot 10^{-13}}{8,8 \cdot 10^{-6}} = 0,04 \cdot 10^{-6}$$

Визвана пружним наслідком похибка:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2 = -\beta_{\text{і\ddot{o}}} \frac{\Delta l}{l},$$

Де $\beta_{\text{пр}}$ – величина пружного наслідку для берилієвої бронзи $\beta_{\text{пр}} = 0,2\%$:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		46

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2 = -0,002 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = -0,004 \cdot 10^{-6}.$$

Похибка від нестабільності частоти:

$$\frac{\Delta f}{f} = -\sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_1^2 + \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_2^2} = -\sqrt{(0,04 \cdot 10^{-6})^2 + (0,004 \cdot 10^{-6})^2} = 0.00038 \quad (3.4.27)$$

4) Відносна похибка площі поперечного перерізу струни:

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{\delta l}{l}\right)^2 + \left(\frac{\delta h}{h}\right)^2},$$

Де $S = l \cdot h$, δh , δl – допуски на сторони поперечного перерізу струни.

$\delta h = \delta l = 0,8$ мкм – при виготовленні струни по еквіваленту hl :

$$\frac{\Delta S}{S} = \sqrt{\left(\frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,25}\right)^2 + \left(\frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{0,025}\right)^2} = 0.00321$$

Рівняння для відносної похибки:

$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta a}{a} - 0.5 \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta S}{S} - 0.5 \frac{\Delta f}{f} = 2 \cdot 10^{-6} + 0.5 \cdot 7.5 \cdot 10^{-6} - 0.00321 - 0.5 \cdot 0.00038 = 0.00340$$

$$\text{То } \Delta m = 0.00340 \, m = 0.00340 \cdot 60 = 1.8$$

Щоб забезпечити інструментальну похибку, потрібно при розробці забезпечити контроль маси з точністю до 1.8 г. [33].

Формула похибки від не лінійності:

$$f = f_0[(1 + ka / F_0)]^{0.5},$$

Де l – довжина струни; F_0 – початковий натяг; k – коефіцієнт пропорційності.

З цього бачимо, що СА має квадратичну характеристику. Розкладемо вираз у ряд:

$$f = f_0[1 + \frac{ka}{2F_0} - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{ka}{F_0}\right)^2 + \frac{1}{16} \cdot \left(\frac{ka}{F_0}\right)^3 - \dots]$$

Для забезпечення не лінійності і необхідних метрологічних характеристик, виконується рівність:

$$\left(\frac{\Delta F}{F_0} \right)_{\max} \leq 0.2.$$

Враховуючи це обмеження, кубічний член ряду буде меншим квадратичного, чим можна знехтувати.

То функцію перетворення можна подати у вигляді:

$$\Delta f = f - f_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{ka}{F_0} f_0 - \frac{1}{8} \cdot \left(\frac{ka}{F_0} \right)^2 f_0,$$

А похибку не лінійності, яка оцінює відношення другого члена правої частини рівняння до першого:

$$\gamma = 0.25 \frac{ka}{F_0}$$

Реалізоване використання СА з ЕОМ, має вагомий ефект, так як компенсацію похибки від не лінійності можна вмістити у пристрій ЕОМ і автоматизувати процес визначення поточних значень вимірювальної фізичної величини.

3.5. Динамічні характеристики

3.5.1. Рівняння динаміки

Рівняння динаміки визначає залежність вихідної величини системи від вхідної величини.

Рівняння динаміки механічної частини СА [13, с.485]:

$$\ddot{y} = \frac{m}{c} \ddot{x} + \frac{R}{c} \dot{x} + x. \quad (3.5.28)$$

Позначимо $\frac{m}{c} = T^2$, а $\frac{R}{c} = 2\xi T$. Тоді в операторній формі маємо:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						48
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$y = \frac{\frac{m}{c} x}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} \quad (3.5.29)$$

Динамічна похибка характеризується виразом:

$$W(p) = \frac{\frac{m}{c}}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} \quad (3.5.30)$$

Кінцева передатна функція:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}, \quad (3.5.31)$$

Де

$$K = K_U K_2 K_p = \frac{0.06 \cdot 8 \cdot 0.01 \cdot 0.525^2 \cdot 0.04 \cdot 0.055^2 \cdot 980}{1.2 \cdot 3.14^5 \cdot 5.2 \cdot 10^{-10} \cdot 8.8 \cdot 10^3} \left[\cos \frac{3.14 \cdot (0.055 - 0.04)}{2 \cdot 0.055} - \cos \frac{3.14(0.055 + 0.04)}{2 \cdot 0.04} \right] \times \\ \times 0.2 \cdot 200 = 1.052B$$

Звертаючи на те, що $\frac{m}{c} = T^2$; а $\frac{R}{c} = 2\xi T$, де $m=0,06\text{кг}$ – інерційна маса; $c = 1,2\text{Н/м}$ – жорсткість пружин, з допомогою яких кріпиться маса до корпусу; $R=0,37\text{ Н}\cdot\text{с/м}$ – в'язке тертя демпфера.

Маємо:

$$T^2 = \frac{m}{c} = \frac{0.06}{1.2} = 0.05\text{с}$$

$$2\xi T = \frac{R}{c} = \frac{0.37}{1.2} = 0.308\text{с}$$

Тому кінцева передаточна функція виглядає так:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} = \frac{1.052}{0.05 p^2 + 0.308 p + 1}$$

3.5.2. Перехідна та імпульсна характеристики

Перехідна характеристика – це реакція об’єкта на одиничний ступінчатий вплив при нульових початкових умовах. При . і ..

Імпульсна характеристика – це реакція об’єкта на . – функцію при нульових початкових умовах.

Передаточна функція розімкненої системи:

$$W(p) = \frac{1.052}{0.05 p^2 + 0.308 p + 1}$$

Використовуючи MathLab визначимо перехідну характеристику:

$$\underline{F3(p)} := \frac{W(p)}{1 + W(p)}$$

$$h(t) := F3(p) \cdot \frac{1}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, p} \\ \text{collect, exp} \rightarrow 0.0000674 \cdot e^{-49.6 \cdot t} + 0.000298 \cdot e^{-0.403 \cdot t} + \\ \text{float, 3} \end{array} \right. + -0.983 \cdot \cos(22.9 \cdot t) \cdot e^{-25.0 \cdot t} + -1.07 \cdot \sin(22.9 \cdot t) \cdot e^{-25.0 \cdot t} + 0.982$$

Графік перехідної характеристики рис. 3.4.

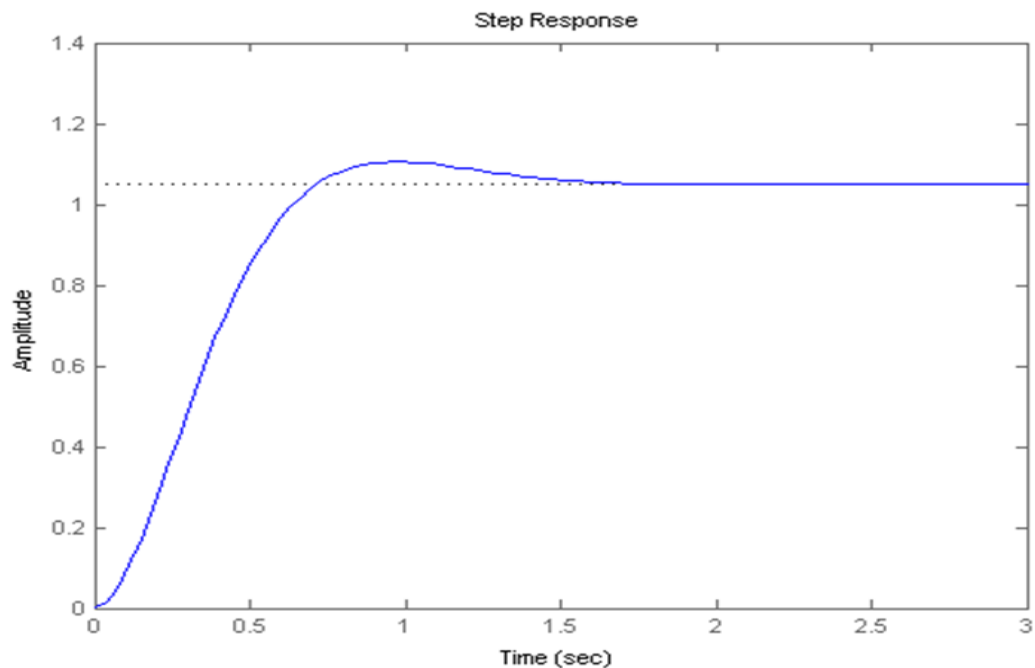


Рис. 3.4 – перехідна характеристика СА

З графіку рис. 3.4 видно, що процес згасає, що є сприятливим явищем.

Основні показники перехідної характеристики:

1. Тривалість перехідного процесу . – час, за який вихідна величина при своїй переміні буде відхилятися від усталеного режиму не більш, ніж на величину статичної похибки.

Для даної системи . .

2. Врегулювання, яке являє собою відношення максимального відхилення вихідної величини від усталеного значення ..
3. Статична похибка в межах усталеного значення.

Знаючи, що імпульсна характеристика являє собою похідну по часу від перехідної характеристики, маємо:

$$w(t) := \frac{d}{dt} h(t)$$

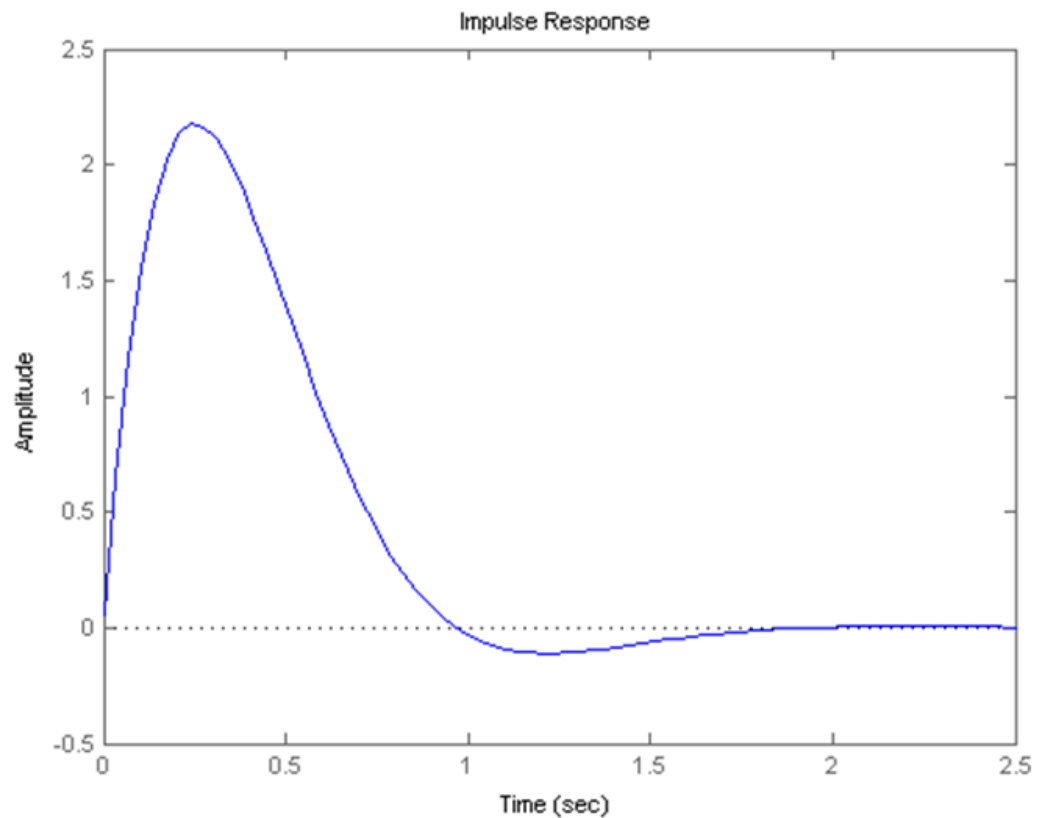


Рис. 3.5 – Імпульсна характеристика СА

Враховуючи рис. 3.4 і рис. 3.5, робимо висновок, про невеликий час перехідного процесу.

3.5.3. Побудова ЛАФЧХ

Логарифмічна амплітудно-фазова частотна характеристика – це представлення частотного відгуку лінійної стаціонарної системи в логарифмічному масштабі.

Має вигляд двох графіків, 1 з яких логарифмічна амплітудо-частотна характеристика, а другий фазочастотна характеристика.

Аналіз за допомогою ЛАФЧХ є простим і зручним.

Передатна функція розімкнутої системи:

$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} = \frac{1.052}{0.05 p^2 + 0.308 p + 1}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{T}} = \frac{1}{0.22} = 14.1 \text{ c}^{-1}$$

$$L(\omega_k) = 20 \lg K = 20 \lg 1.052 = 0.44 \text{ дБ} ;$$

За допомогою MatLab будемо графіки ЛАФЧХ рис.3.6:

```
>> w=tf([1.052],[0.05 0.308 1])
```

Transfer function:

1.052

0.05 s^2 + 0.308 s + 1

```
>> margin(w)
```

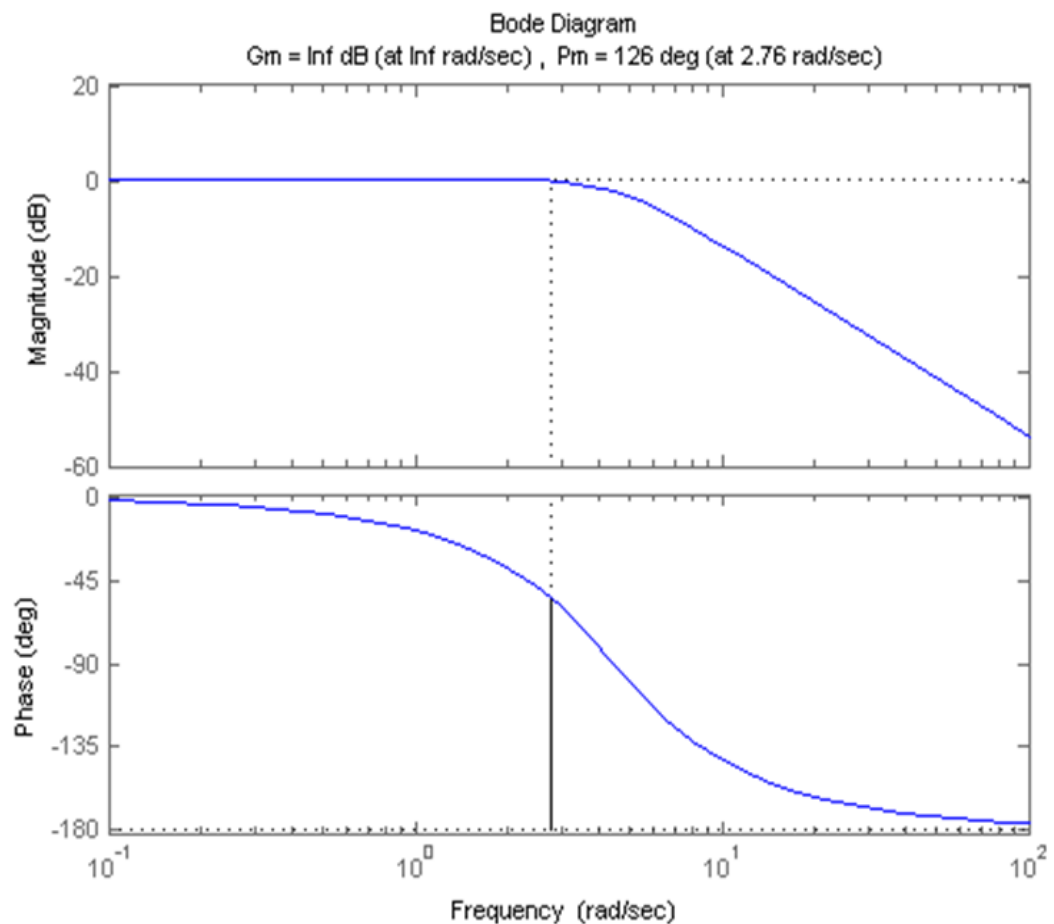


Рис. 3.6 – ЛАФЧХ

Аналізуючи рис. 3.6, бачимо що система є стійкою і запаси стійкості складають:

Запас стійкості по амплітуді: $h = \infty \Delta B$

Запас стійкості по фазі: 126° .

4. Визначення показників технологічності

4.1. Вступ

Технологічний процес являє в собі впорядковану послідовність пов'язаних дій та операцій, які направлені на певні вихідні дані для отримання необхідного результату. Виходячи з умов виробництва технологічні процеси поділяють на уніфіковані та одиничні.

4.2. Визначення основних показників технологічності

Показник трудомісткості визначається сумою кількості витрачених годин на виготовлення та випробування виробу:

$$T_i = \sum T_i \quad (4.1)$$

Де T_i – трудомісткість виготовлення.

Показник $K_{у.т}$ – технологічність конструкції визначається відношенням $T_i=40$ до базового показника $T_{б.і}=44,4$:

$$K_{у.т} = T_i / T_{б.і} = 0,9 \quad (4.2)$$

Цей показник розраховується у процесі проектування виробу при дослідницько-статичний даним виробу і корегувальним коефіцієнтам..

Сума витрат на одиницю виробу визначає технологічну собівартість C_T :

$$C_T = C_M + C_3 + C_{о.в} = 315 \text{ грн}, \quad (4.3)$$

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		54

де $C_m = 5$ грн – вартість матеріалів; $C_3 = 240$ грн – заробітна плата робітників;
 $C_{o.в} = 70$ грн – операційні витрати.

Рівень технологічності конструкції визначається як досягнута собівартість приладу C_m ділемо на собівартість технологічно базового виробу $C_{б.в} = 350$ грн:

$$K_{y.c} = C_T / C_{б.в} = 0,9. \quad (4.4)$$

4.3. Додаткові показники технологічності

Коефіцієнт уніфікації виробу:

$$K_y = \frac{N_y + n_y}{N + n} \quad (4.5)$$

де $N_y = 1$ – кількість уніфікованих складальних одиниць;

$n_y = 1$ – кількість уніфікованих деталей;

$n = 12$ – загальна кількість деталей;

$N = 2$ – загальна кількість складальних одиниць.

Згідно формули (5.5) отримуємо:

$$K_y = (1+1)/(1+12) = 0,15 \quad (4.6)$$

Для визначення коефіцієнту уніфікації складальних одиниць K_{yco} , ділемо кількість уніфікованих одиниць на їх всю кількість:

$$K_{yco} = \frac{N_y}{N} = \frac{1}{2} = 0,5 \quad (4.7)$$

Коефіцієнт уніфікації деталей $K_{y\phi}$:

$$K_{y\phi} = \frac{n_y}{n} = \frac{1}{12} = 0,08 \quad (4.8)$$

Для обчислення коефіцієнту уніфікації деталей K_{co} потрібно віднести загальну кількість СО до загальної кількості деталей:

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$K_{co} = \frac{N}{n} = \frac{2}{12} = 0.17 \quad (4.9)$$

4.4. Комплексний показник технологічності

Метод полягає у введення коефіцієнтів технологічності виробу при врахуванні економічної ефективності вхідних показників. Даний коефіцієнт враховується в діапазоні $0 < K_e \leq 1$.

Технологічність конструкції виробу оцінюють основними та допоміжними характеристиками, що враховуються коефіцієнтами економічної ефективності K_e . Ця характеристика визначається за:

$$\sum_{i=1}^n K_e = 1. \quad (4.10)$$

Комплексний показник технологічності обчислюється за формулою:

$$K_k = \frac{K_1 \cdot K_{1e} + K_2 \cdot K_{2e} + K_3 \cdot K_{3e} + \dots + K_n \cdot K_{ne}}{K_{1e} + K_{2e} + K_{3e} + \dots + K_{ne}}, \quad (4.11)$$

$$\text{де } K_1 = K_{yr} = 0,9;$$

$$K_2 = K_{yc} = 0,9;$$

$$K_3 = K_y = 0,15;$$

$$K_3 = K_{yco} = 0,5;$$

$$K_4 = K_{yd} = 0,08;$$

$$K_5 = K_{co} = 0,17;$$

$$K_k = \frac{0,9 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 0,2 + 0,15 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,2 + 0,08 \cdot 0,1 + 0,19 \cdot 0,1}{0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,1 + 0,1} = 0,52.$$

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		56

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		57

5. Розробка стартап проекту на тему «Вібраційний чутливий елемент стабілізатора озброєння»

5.1. Опис ідеї проекту

Анотація: в даному проекті було розроблено струнний акселерометр з одним чутливим елементом., який використовується в стабілізаторах озброєння.

Проблема: ідея проекту полягає в тому, щоб розробити більш дешевий але точніший, надійніший акселерометр для його використання в стабілізаторах озброєння.

Головні цілі та завдання проекту: підвищення точності, швидкості, часу реакції та надійності вихідних показників; зробити прилад простішим у використанні та дешевшим при конструюванні.

Очікувані результати: вихід на світовий ринок; використання даної технології в багатьох сферах; тривале господарювання на ринках подібної технології.

Інформаційна карта проекту

1. Назва проекту	Дослідження струнного чутливого елемента стабілізатора озброєння
2. Автор проекту	Ткаченко А.А.
3. Коротка Анотація	В даній роботі було розглянуто основні напрямки використання стабілізаторів, розглянуто будову мікропроцесорних плат, струнного акселерометра, виведена математична модель, розроблено технологічний процес.
4. Терміни реалізації проекту	Від 3 до 15 місяців
5. Необхідні ресурси	Матеріальні: Матеріали для акселерометра, плати Arduino Software. Фінансові: ~500\$ Інтелектуальні: Програмне забезпечення.
6. Опис проблеми, яку вирішує проект	Розробка дешевого, проте точнішого стабілізатора озброєння

7. Головні цілі та завдання проекту	Підвищення точності та надійності
8. Очікувані результати	Розповсюджене використання даного типу акселерометра, вихід на світовий ринок.

В попередніх розділах було розглянути види озброєння в яких використовується стабілізатор, розроблено конструкцію чутливого елементу, проведено розрахунок основних елементів конструкції, проведено аналіз його надійності, розроблена схема кріплення стабілізатора на військовій техніці, розроблена принципова схема Струнного акселерометра, виведена математична модель чутливого елементу, розроблено технологічну схему складання і схему складального складу, розглянуто принцип роботи плат компанії Arduino Software та проведено аналіз статичних та динамічних похибок.

В даному розділі буде розглянуто чутливий елемент для оснащення стабілізатора, його характеристики, матеріали для виготовлення .

Ідея проекту полягає в дослідженні чутливого елементу на об'єкт надійності та точності табл. 5.1

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Струнний чутливий елемент стабілізатора	Корабельна Артилерія	Висока точність Надійність
	Бронетехніка	

Отже, пропонується новий чутливий елемент для використання його при конструюванні стабілізатора, який забезпечить високу точність та швидкість реакції.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

– визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

– визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						60
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій Проект	Конкурент 1 СВУ-500-3Ц	Конкурент 2 СВУ-500-7Ц			
1.	Час готовності (с)	1	3.6	2	-	-	+
2.	Неплавність наведення	0.5	0.3	1	-	-	+
3.	Вартість пристрою	5000	4000	7000	-	+	-
4.	Макс. Шви. Наведення у вертикальній й горизонтальній площинах	17°/сек	35°/сек	25°/сек	+	-	+
5.	Мін. Шви. Наведення у вертикальній й горизонтальній площинах	0.05°/сек	0.1°/сек	0.07°/сек	+	-	+
6.	Кути наведення (град) горизонтальній й вертикальній	360° - 3° + 35°	360° - 7° + 70°	360° -5° +45°	+	-	+

Як показано в таблиці, основними перевагами проекту є майже всі характеристики, що і робить ідею конкурентоспроможною.

5.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Дослідження струнного чутливого елементу стабілізатора	Створення стабілізатора з використанням одного чутливого елементу та мікропроцесору	Існуюча технологія	Доступна технологія
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Створення стабілізатора з використанням одного чутливого елементу.				

Проаналізувавши таблицю 3.2, що для реалізації ідеї проекту, використовуємо варіант: Створення стабілізатора з використанням чутливого елементу та мікропроцесору. Ідея включає в себе використання Arduino Software, яка дає можливість користувачу, навіть без великого багажу знань, проектувати автоматичні системи, які будуть використовуватись при розробці стабілізаторів. З допомогою цього можна буде змодельовати поведінку техніки та проаналізувати роботу струнного акселерометра. В свою чергу стабілізатори забезпечують високу швидкість пере-націлювання озброєння, встановлення режимів на кути зарядження, а також переведення блока озброєння в початкове положення.

5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартаппроєкту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Повільна
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	<i>Відповідність міжнародним стандартам</i>
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	17

Ринок ЧЕ є досить специфічним і складним для входу через його часткову закритість. Основною проблемою є факт того що дійсно великі компанії не будуть звертати увагу на нову невеличку компанію. Тим не менш вхід на ринок можливий через маленькі фірми і підприємства які допоможуть створити відповідну репутацію і перейти в закритий сегмент ринку. Враховуючи вищесказане рентабельність продукту буде рости пропорційно довірі до компанії, тому при вході на ринок важливо не гнатись за високою рентабельністю а напрацьовувати клієнтську базу.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба у точному і надійному чутливому елементі	Бронетехніка, корабельна артилерія	Фактори зовнішнього маркетингового середовища, фінансові можливості, дефіцит необхідних матеріалів, індивідуальність, сприйняття.	Висока якість, надійність, індивідуальний підхід, оптимальне співвідношення ціни та якості, наявність сервісного обслуговування.

Виробники бронетехнік та військової артилерії будуть зацікавлені у стабілізаторах виготовлених з використанням цього ЧЕ. Так як система буде основана на сучасній мікропроцесорній платі то модернізація стабілізатора не буде проблемою, що дозволить з часом ще більше розширити коло споживачів.

Після визначення потенційних груп клієнтів проекту, треба провести аналіз ринкового середовища: факторів, що загрожують ринковому впровадженню проекту та фактори, що дають можливість його розвитку.

Фактори загроз перелічені в таблиці 3.6.

Таблиця 5.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Посилення конкуренції на ринку.	Зменшення продажу	Пошук партнерів
2.	Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання.	Зменшення продажу	Пошуки постачальників за межами країни.
3.	Несприятлива державна податкова політика, криза.	Фінансові збитки	Зменшення ціни товару, пошук інвесторів, партнерів.
4.	Економічний фактор	Користувачі не будуть купувати систему	Розширення функцій, заміна компонентів, зниження ціни.
5.	Технічний фактор	Відсутність доступу до технологій пристроїв які встановлюються в стабілізатор	Пошук партнерів, налагодження контрактів

Основними з факторів загроз є відсутність надійних постачальників, так як, одними з головних компонентів стабілізаторів є якісні компоненти (струнні чутливі елементи, мікропроцесорні плати та інше). На якість ЧЕ впливає знання стабілізатора в який він буде інтегрований . Також ціна на обладнання постачальників повинна буди помірною, щоб пристрій був конкурентоспроможним за вартістю.

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.4. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Вихід на нові ринки	Збільшення кількості продажів	Підвищення попиту, залучення іноземних інвестицій
2.	Можливість розширення переліку послуг	Сервісне обслуговування	Підвищення попиту, додатковий прибуток
3.	Можливість розробки власних інноваційних рішень	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни, пошук партнерів
4.	Поліпшення споживчих характеристик впроваджуваних рішень	Оновлення програмного забезпечення	Маркетингове дослідження, збільшення попиту, наукове дослідження
5.	Популяризація	Збільшення кількості продажів за рахунок контрактів з виробниками бронетехніки	Послуги маркетологів

Якщо пристрій зарекомендує на українському та міжнародних ринках, це посприятиме не тільки збільшенню попиту, але й підвищенню довіри до продукту, що в свою чергу дозволить вийти на ринок великих компаній і працювати з виробниками напряду.

Після проведення аналізу ринкового середовища проведено аналіз пропозиції. Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 3.8

Таблиця 5.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Економічне суперництво між суб'єктами економічних процесів, коли жоден з них (компанія, підприємець, споживач, працівник та ін.) не	Концентрація діяльності підприємства на новизну та якість товару

	може впливати на загальну ситуацію на ринку або цей вплив є таким незначним, що ним можна знехтувати	
2. Національна	Між компаніями всередині країни	Варіація об'ємів виробництва, співпраця з компаніями по виробництву артилерії та бронетехніки
3. За галузевою ознакою Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі	Формування ринкової вартості товару
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду	Удосконалення продукту та додавання нових функцій
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Цінова. Для значної частки споживачів ціна є визначальною при виборі	Зниження ціни на продукцію, додаткові витрати
6. За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якості пристрою; закупка якісних приладів, створення власної торгової марки

Загальні риси конкуренції на ринку показали, що даний прилад конкурентоспроможний на ринку споживачів. Незалежно від інтенсивності конкуренції для кожної фірми необхідно розробляти ефективну стратегію, що забезпечить перевагу над конкурентами. При формуванні стратегії фірма повинна знати і враховувати ряд факторів, що у будь-якій галузі істотно впливають на інтенсивність конкуренції.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 5.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ДК «Укроборонпром»	Високий бар'єр входження в ринок	Невелика собівартість, якість товару, довіра до бренду	Відносно невелика собівартість, надійність	Фактори загроз з боку замінників є
Висновки:	Інтенсивне	Потенційні клієнти є, є можливості виходу на ринок	Ціна, умови співпраці, кількість обладнання	Вартість, якість, гарантійний строк	Відсутнє

На основі аналізу конкуренції, проведеного в табл. 3.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару (табл. 3.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 3.6, 3.7) можна зробити висновок, що проект не повинен поступатись в якості конкурентам, мати високі показники точності і надійності та додаткову функціональність, щоб задовольнити потреби користувачів в даній галузі та залучити користувача до придбання продукту.

Основними умовами забезпечення конкурентоспроможності є: застосування наукових підходів до стратегічного менеджменту; забезпечення єдності розвитку техніки, технології, економіки, управління; застосування сучасних методів дослідження й розробок (програмно-цільове планування, теорія прийняття рішень і т.д.); розгляд взаємозв'язків функцій управління будь-яким процесом на всіх стадіях життєвого циклу об'єкта; формування системи заходів із забезпечення конкурентоспроможності різних об'єктів.

Із проведеного вище аналізу визначено перелік факторів конкурентоспроможності, які наведено в табл. 3.10

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Використання високотехнологічного обладнання	Якість продукції, точність параметрів тестування, висока достовірність отриманих результатів, самодіагностика приладів
2	Наявність кваліфікованих співробітників.	Достовірність отриманих результатів, гарантія правильної роботи обладнання
3	Доступність	Ціна є середньою для ринку
4	Можливість модернізацій	Пристрій підтримує можливість доповнення його елементами для більш точного налаштування під ситуацію
5.	Точність	Використання якісних ЧЕ у поєднанні з мікропроцесорною платою
6.	Надійність	Спеціальний захищений корпус

Таблиця 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Струнний чутливий елемент стабілізатора озброєння»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Укроборонпром»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Використання високотехнологічного обладнання	14			+				
2	Наявність кваліфікованих співробітників.	12	+						
3	Доступність	16						+	
4	Можливість модернізацій	20							+
5.	Точність	18				+			
6.	Надійність	18					+		

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 5.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони:	Слабкі сторони:
1. Точність;	1. Ціна.
2. Час готовності (с);	2. Низький рівень довіри до пристрою на початку продажу;
3. Макс. Шви. Наведення у вертикальній й горизонтальній площинах;	

4. Мін. Шви. Наведення у вертикальній й горизонтальній площинах; 5. Кути наведення горизонтальній, вертикальній. 6. Можливість модернізації. 7. Тех. обслуговування	
Можливості: 1. Вихід на нові ринки; 2. Розробки власних інноваційних рішень; 3. Покращення характеристик; 4. Популяризація.	Загрози: 1. Посилення конкуренції на ринку; 2. Несприятлива державно-податкова політика; 3. Криза 4. Відсутність надійних постачальників високоякісного обладнання

Треба передбачати появу несприятливих умов, таких як поява оновлених пристроїв у конкурентів та нестабільність ринку для можливості швидкої реакція та зменшення подальших наслідків. При цьому потрібно покращувати репутацію, нарощувати клієнтську базу за рахунок співпраці або колоборацій з компаніями що пов'язані з кораблебудуванням, бронетехнікою та реклами, удосконалення та використання інноваційних технологій .

На основі SWOT-аналізу розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 5.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пошук інвестицій	Середня	4-9 місяців
2	Збільшення ринку збуту завдяки співпраці з дослідницькими центрами ,рекламі	Середня	1-3 роки
3	Зменшення ціни на продукт. Акції	Висока	6 місяців
4	Вихід на міжнародний ринок	Висока	3-5 роки

Провівши аналіз альтернатив ринкового впровадження стартап-проекту, можна зробити висновок, що найбільш оптимальними альтернативами будуть збільшення ринку збуту завдяки рекламі та розширення ринку збуту в купі з зменшенням ціни на продукт в певні періоди реалізації збільшення ринку збуту ,оскільки стратегія збільшення ринку послуг через рекламу має середню ймовірністю отримання ресурсів та відносно стислі строки реалізації, тому для підвищення ефективності в план варто додати стратегію акцій які будуть сприяти розширенню клієнтської бази що в майбутньому принесе вигоду.

5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 5.11. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Компанії по конструюванні бронетехніки	готові	високий	Середня	+
2.	Компанії по конструюванні корабельної артилерії		середній	Мала	+
Які цільові групи обрано: компанії які займаються розробкою або вдосконаленням військової техніки та корабельної артилерії; Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із компаніями виробниками броньованої техніки					

Провівши аналіз потенційних груп споживачів, обрано цільові групи, що представлені компаніями, які виготовляють бронетехніку. На основі проведеного аналізу обрано стратегію охоплення ринку — стратегію диференційованого маркетингу.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувані базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Залучення споживачів	Орієнтир не тільки на бронетехніку а й на виробників корабельної артилерії.	Якісне обладнання; Оптимальне співвідношення ціна-якість; Точність і надійність	Удосконалення

		Реклама та створення стійкого попиту на товар; якісне обладнання.		
--	--	---	--	--

Альтернативою розвитку проекту є залучення споживачів: інструкторських бюро, компаній. Постачання якісного обладнання оптимальної ціна та точний прилад є основною позицією конкурентоспроможності даної альтернативи.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Продукт не є «першопрохідцем» на ринку	Буде забирати існуючих та шукати нових	Компанія не буде ціленаправлено копіювати пристрої конкурентів, всі збіги в конструкції будуть суто загальними і основна схема пристрою є унікальною	Позиція специфічних відчутних характеристик

У зв'язку з тим, що розмір ринкового сегменту є великим, при цьому він являється досить прибутковим, стратегією конкурентної поведінки обрано «пошук нових споживачів і забирання існуючих у конкурентів». Основною стратегією при цьому повинно бути турбота та завоювання прихильності споживача. Це можна зробити за рахунок підвищення точності пристрою та високої технічної якості обслуговування.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						72
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Висока якість, Висока точність, надійність	Удосконалення	Точність, надійність, можливість модернізації	Висока точність, надійність, адаптивність

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку

5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Точність	Точний пристрій	Більша точність
2	Надійність	Висока надійність	Більша надійність
3	Якість	Якісні комплектуючі	Використання лише якісних комплектуючих

4	Адаптивність	Наявність можливості удосконалення пристрою	Використання мікропроцесора для реалізації можливості удосконалення
---	--------------	---	---

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару є важливим етапом в розробленні стартап-проекту для задовільнення потреб і забезпечення вигоди як для споживачів, так і для товаровиробників. Тому вигідними сторонами товару обрано: Високу точність, надійність ,якість та адаптивність до умов використання.

Таблиця 5.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Високоточний прилад з похибкою близькою до 0.7 , високою надійністю , простий в модифікації і встановленні.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1.Довговічність	М	Тл
	2.Висока точність (близько 1% похибки)		
	3.Висока надійність		
	4. Має можливість модифікації	Нм	Тл
		М	Тх
		М	Тх
	Якість: технічний регламент ,патент		
	Пакування: Спеціальний кейс		
	Марка: Epic Alliance		
III. Товар із підкріпленням	До продажу : Чутливий струнний елемент		
	Після продажу : Стабілізатор озброєння		
Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок логотипу, введення комерційної таємниці на систему (система «під ключ»), патентування розробленого методу.			

Після опису трирівневої моделі товару необхідно визначити цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту.

Формування команди стартапу

№	Команда	Роль в команді	Завдання
1	Інженер-конструктор	Генератор ідей	1.Розподіл обов'язків

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		74

			2.розробка конструкції 3. Розробка технічного завдання.
2	Інженер-технолог	Експерт	1.Оцінка конструкції 2.Визначення об'єктивних рішень 3. Розробка По
3	Інженер-консультант	Помічник	1.Закупівля необхідних ресурсів. 2.Допомога при розробці
4	Маркетолог	Дипломат	1.Аналіз маркетингової ситуації 2.Пошук інвестора 3.Просування на ринку

Виходить що для формування стартап команди потрібно 4 учасинка. для кожного є свої обов'язки. Головним для команди буде інженер-конструктор, який розподілятиме обов'язки між своїми підлеглими та буде генератором ідеї для проекту. Основним виконавчим підлеглим буде інженер технолог, за рахунок його профілю, і як експерт в даній сфері. В його помічники Інженер-консультант, який займається закупівлею матеріалів та допомає при розробці струнного акселерометра. У маркетолога завдання полягає в пошуці інвесторів та просування приладу по ринку.

Початкові витрати проекту

№ з/п	Стаття витрат	Обсяг витрат В 0-й рік, тис. грн..
1.	Розробка проектних матеріалів	240
2.	Робоче проектування і прив'язка проекту	120
3.	Витрати на придбання обладнання та устаткування і пристроїв	200
4.	Витрати на приймально-здавальні випробування	20
5.	Оплати юридичних послуг	15
6.	Витрати на придбання нематеріальних активів	10
7.	Витрати на пере-виробничі маркетингові	15

	дослідження і створення збутової мережі	
8.	Витрати пов'язані з формування команди	150
Разом: 770 тис. грн		

З таблиці бачимо, що загальна початкова сума витрат проекту становить 770 тис. грн.. Загалом видно що велика частка від суми становить розробка проектних матеріалів, придбання устаткування та пристрої, що говорить про якість, надійність використаних матеріалів при розробці проекту. Ця сума є мінімально можливою для початку роботи даного проекту.

Таблиця 5.17. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	5000	-	8000	5тис.-15000

Ціни на ЧЕ лежать в межах від 5000 до 15000 та в загальному залежать від матеріалу елемента, точності, експлуатаційних умов, меж вимірювання, довговічності та довіри до бренда.

Таблиця 5.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Регулярні замовлення	Налагодження контрактів для поставок, пошук партнерів, переговори з компаніями для отримання тендеру	0	Компанії конструктори бронетехніки, корабельної артилерії

Для забезпечення ефективної реалізації стартап-проекту оптимальною системою збуту обрано прямий, без залучення посередників між виробником та споживачем.

Таблиця 5.19. Концепція маркетингових комунікацій

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						76
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Орієнтація на регулярні поставки	Формальні канали комунікацій	Висока якість, точність і надійність приладу	Інформування споживачів; Розвиток попиту; Стимулювання продажу; Пошук вигідних партнерів;	Даний ЧЕ є інноваційним

Результатом даного підпункту є орієнтир на регулярні поставки ,ключові позиції: висока якість, точність та надійність ЧЕ.

.

5.6. Висновки

В даному розділі проведено маркетинговий аналіз стартап-проекту для визначення загальної можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього проекту.

Наведено зміст ідеї стартап-проекту, напрямки застосування та вигоди для користувача. Проведено аналіз ринку показує та аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї проекту та проектів потенційних конкурентів. Визначено перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї, на основі яких була сформована конкурентоспроможність майбутнього проекту.

Невід'ємною частиною маркетингового аналізу стало визначення технологічної здійсненності проекту. Після цього було визначено ринкові можливості та оцінено потенційні загрози для планування напрямків розвитку проекту, враховуючи стан ринку, потреби потенційних користувачів та пропозиції конкурентів.

Також було визначено потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, проведено аналіз ринкового середовища: визначено фактори, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та фактори, що йому перешкоджають; аналіз пропозиції та аналізу конкуренції.

На основі попередніх досліджень було визначено фактори конкурентоспроможності, за допомогою яких проведено аналіз сильних та слабких сторін проекту, та проведено SWOT-аналіз, на основі якого розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок.

Враховуючи все вищевказане було зроблено висновок, що незважаючи на наявний попит ринку, наявність потенційних клієнтів і конкурентоспроможність проекту на технічному рівні його економічний успіх є досить сумнівним. Специфіка військового ринку не дає новому пристрою відразу після появи на ринку стати «хітом» і різко підняти, ЧЕ має себе зарекомендувати і пройти

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						78
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

безліч тестів доки його ризикнуть взяти дійсно великі компанії. З огляду на обставини доцільнішим вважаю пошук партнерів серед компаній що вже займаються розробкою бронетехніки та кораблевої артилерії і пропонування їм партнерських відносин у впровадженні даного проекту у ринковий обіг.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						79
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Висновки

Отже, в даній магістерській дисертації було розроблено струнний чутливий елемент стабілізатора озброєння.

В першому розділі розглянуто інформацію про різні види систем стабілізації озброєння. Описано завдання стабілізаційних систем та відомі методи їх вирішення. Розглянуто загальні відомості по темі дисертації.

В наступних розділах проведено проектування пристрою. Розглянуто конструкцію пристрою, його основні елементи, їх характеристики. Спроектовано математичну модель вібраційного чутливого елементу. Розроблено структурну схему струнного акселерометра, розраховано його точність, проведено розрахунки динамічних характеристик, побудовано перехідну, імпульсну, логарифмічну амплітудно-фазову частотну характеристики.

В останньому розділі обґрунтовано основні аспекти економічної доцільності використання струнного чутливого елементу в стабілізаторах озброєння у вигляді стартап проекту.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
						80
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Безвесільна О.М. Попередня прецизійна виставка навігаційних чутливих елементів приладового комплексу стабілізатора озброєння легкої броньованої техніки: монографія / О.М. Безвесільна, В. Г. Цірук, С. П. Маляров . – 2016, Житомир: ЖДТУ. – 235с.
2. Кузнецов Б. І. Система наведення і стабілізації озброєння легкоброньованих машин з нейромережевим регулятором / Б. І. Кузнецов, Т. Ю. Василець, О. О. Варфоломійєв // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – №1(13). – Р.112-116.
3. Guerard, J. Quartz structures for Coriolis Vibrating Gyroscopes / Guerard, J.,Janiaud, D.; Taibi, R.; Levy, R. // Phys. & Instrum. Dept., ONERA, Chatillon, France, 2014. – С. 1-4.
4. Remillieux, G. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized/ Remillieux G.; Delhayе F.// Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS) , 2014. – С. 1-13.
5. Calvo M. Time stability of spring and superconducting gravimeters through the analysis of very long gravity records / M. Calvo, J. Hinderer, S. Rosat, H. Legros, J.-P. Boy, B. Ducarme, W. Zürn // Journal of Geodynamics. – 2017. – №106. – P. 30–32.
6. Roussel C. Integration of a Strapdown Gravimeter System in AN Autonomous Underwater Vehicle / Roussel C., Verdun J., Cali J., Maia M., d'EU J. F. // ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – Volume XL-5/W5. – P. 199–206.
7. Стабилизатор вооружения СВУ-500-3Ц, СВУ-500-4Ц: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zelaz.ru/stabilizator-vooruzheniya-svu-500-3c-svu-500-4c.html>
8. Arduino Uno: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>
9. Лозинская, А. М. Измерение силы тяжести на борту самолета [Текст] / А.М.Лозинская. – М. : ВИАМС, 1978. – 70 с.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		81

10. Дифференциальный струнный акселерометр и способ его изготовления: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/225/2258230.html>
11. Осадчий, Е. П. Проектирование датчиков для измерения механических величин [Текст] / Е. П. Осадчий. - М.: Машиностроение, 1979. - 480 с.
12. Карцев, А.А. Унифицированные струнные измерительные преобразователи [Текст] / Е. А. Карцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 144с.
13. Безвесільна, О. М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів [Текст]: підручник / О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик. - Житомир: ЖДТУ, 2012. - 812 с.
14. Bezvesilnaya, E. Electromechanical gravimeter [Text] / E. N. Bezvesilnaya, A. A. Ostapchuk, A. G. Tkachuk, L. O. Chepyuk // The advanced science journal (China). – 2014. – №7. – P. 45–48.
15. Безвесільна, О. М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри [Текст]: монографія / О. М. Безвесільна. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – 604 с.
16. Gramert, W. R. Third generation aerogravity system [Text] / W.R. Gramert // International Association of Geodesy Symposium G4, IUGG XXI General Assembly.– Boulder, Colorado, 1995.
17. Унифицированный технологический процесс – Особенности: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mash-xxl.info/info/350562/>
18. Безвесільна, О. М. Вимірювання прискорень [Текст] / О. М. Безвесільна. – К.: Либідь, 2001.
18. Dunzhu X. The Development of Micromachined Gyroscope Structure and Circuitry Technology / Dunzhu Xia , Cheng Yu and Lun Kong // Sensors. – 2014. – № 14. – P. 1394-1473, DOI: 10.3390/s140101394.
19. Korobiichuk I. Aviation gravimetric system / I. Korobiichuk, R. Szewczyk, M. Nowicki, V. Shadura // International Journal of Scientific & Engineering Research. – 2015. – Vol.6. - Issue 7. – P. 1122-1126.

20. Bezvesilna O. Introducing the principle of constructing anaviation gravimetric system with any type of gravimeter / O. Bezvesilna, A. Tkachuk, T. Khylichenko, S. Nechai // Eastern European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/7 (85). – P.45-56.
21. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень, К.: Либідь, 2001;
22. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О., Тимчик Г.С. наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Інформаційно комп'ютерні системи та технології: підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 876 с.; іл..
23. Вовк С.Н. Методологические проблемы математической теории экспериментов – Вопросы философии, 1985, №5;
24. Гик Л. Д. Вимір вібрації. — Новосибирськ: Наука, Сиб. отд-ние, 1972.
25. Дж. Фрейден Современные датчики. Справочник – Москва: Техносфера, 2005, – 592 с.
26. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. – М.: Мир, 1981;
27. И.Х. Ибрагимов Теоритические основы измерения характеристик поля ускорений. –М.: Машиностроение;1979г. – 168с.
28. Ишлинский Л.Ю. Классическая механика и силы инерции. М.: Наука, 1987. 320 с.
29. Калиш Е.Н. Методы многих отсчётов в определении ускорения свободного падения – Автометрия, 1982, №2;
30. Карцев Е.А., Коротков В.П. Унифицированные струнные измерительные преобразователи. – М.: машиностроение, 1982. – 144 с., ил..
31. Келим Ю. М. Типовые элементы систем автоматического управления. Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2002. — 384 с : ил. — (Серия «Профессиональное образование»).
32. Коваленко І.О. Метрологія та вимірювальна техніка. Вимірювання неелектричних величин: Навч. Посібник. – Житомир: ЖДТУ, 2006. – 550 с.

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		83

Додатки

					МД ПІ81мп15.000.000 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		85